

Aus der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik
der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. dent. Daniel Edelhoff

Evaluation eines individuellen Zubehöres für
dentale Winkelstücke

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Humanbiologie
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
M.Sc. Franziska Fuchs

aus Burg

2017

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. Florian Beuer MME

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Ekaterini Paschos

Mitbetreuung durch den

promovierten Mitarbeiter: Dr. med. dent. Ephraim Nold M.Sc.

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 13.12.2017

Hinweis:

Die im nachfolgenden Text genannten Gebrauchsnamen, Handelsnamen und Warenbezeichnungen sind teilweise patent- und urheberrechtlich geschützt. Aus dem Fehlen eines besonderen Hinweises bzw. des Zeichens ® darf nicht geschlossen werden, dass kein Schutz besteht.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
2. LITERATURÜBERSICHT	2
2.1. MEDIZINISCHE GRUNDLAGEN ZUM EINSATZ EINES WINKELSTÜCKES	2
2.1.1. KARIES ALS „VOLKSKRANKHEIT NUMMER 1“	3
2.1.2. KARIES-THERAPIE DURCH PRÄPARATION UND RESTAURATION	3
2.1.3. RESTAURATION VON ZÄHNEN DURCH ÜBERKRONUNG.....	4
2.1.4. PRÄPARATIONSANFORDERUNGEN FÜR EINE VOLLGUSSKRONE.....	5
2.1.5. DAS PRÄPARATIONSINSTRUMENT MIT WINKELSTÜCK.....	8
2.2. DAS INDIVIDUELLE WINKELSTÜCK-ZUBEHÖR	9
2.3. MESSMETHODE ZUR DESIGN-WAHRNEHMUNG.....	11
2.4. MESSMETHODEN ZUR GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT DES WINKELSTÜCK-ZUBEHÖRES.....	13
2.4.1. SUBJEKTIVE ANALYSE DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT.....	14
2.4.2. OBJEKTIVE ANALYSE DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT	14
2.4.3. MESSGRÖßEN DER OBJEKTIVEN ANALYSE	16
2.4.4. VERMESSUNGSPROGRAMM DER LMU ZUR OBJEKTIVEN ANALYSE.....	16
3. ZIELSETZUNG.....	19
4. MATERIAL UND METHODE	20
4.1. ÜBERSICHT	20
4.2. HERSTELLUNG DER INDIVIDUELLEN WINKELSTÜCK-ZUBEHÖRE	21
4.2.1. ERZEUGEN DER ABDRUCKBASIS & ABDRUCKNAHME VON DEN PROBANDEN	22
4.2.2. DIGITALISIEREN UND BEARBEITEN DES ABDRUCKES	23
4.2.3. PLATZIEREN & SLICEN DER INDIVIDUELLEN WINKELSTÜCK-ZUBEHÖRE	25
4.2.4. BAUPROZESS MIT VOR- UND NACHARBEIT	26
4.3. ERMITTLUNG DER DESIGN-WAHRNEHMUNG DER PROBANDEN	28
4.4. GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSSTUDIE INDIVIDUELLES WINKELSTÜCK-ZUBEHÖR.....	29
4.4.1. AUFBAU DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEITSSTUDIE	29
4.4.2. SUBJEKTIVE BEWERTUNG DES INDIVIDUELLEN WINKELSTÜCK-ZUBEHÖRES	31
4.4.3. OBJEKTIVE BEWERTUNG DES INDIVIDUELLEN WINKELSTÜCK-ZUBEHÖRES	35
5. ERGEBNISSE	37
5.1. AUSWERTUNG DER DESIGN-WAHRNEHMUNG DER PROBANDEN.....	37
5.2. AUSWERTUNG DER SUBJEKTIVEN DIMENSION DER UNTERSUCHUNG.....	38
5.2.1. FRAGENBEREICH 2: DIE ABDRUCKNAHME	38
5.2.2. FRAGENBEREICH 3: DAS ZUBEHÖR-DESIGN	40
5.2.3. FRAGENBEREICH 4: DER INSTRUMENTENUMGANG.....	42
5.2.4. FRAGENBEREICH 5: DIE ERGONOMIE DES WINKELSTÜCKES.....	43
5.2.5. FRAGENBEREICH 6: DAS TECHNISCHE HANDLING	44
5.2.6. FRAGENBEREICH 7: ALLGEMEINER EINDRUCK	46

5.3.	AUSWERTUNG DER OBJEKTIVEN DIMENSION DER UNTERSUCHUNG.....	48
6.	DISKUSSION.....	54
6.1.	DISKUSSION DER STUDIE	54
6.1.1.	AUFBAU.....	54
6.1.2.	ABDRUCKNAHME UND PROBANDEN	54
6.2.	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	55
6.2.1.	DISKUSSION DER DESIGN-WAHRNEHMUNG DER PROBANDEN	57
6.2.2.	DISKUSSION DER ERGEBNISSE DER SUBJEKTIVEN DIMENSION	61
6.2.3.	DISKUSSION DER ERGEBNISSE DER OBJEKTIVEN DIMENSION.....	63
7.	ZUSAMMENFASSUNG.....	66
8.	LITERATURVERZEICHNIS	69
9.	ANHANG	73
9.1.	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	73
9.2.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	74
9.3.	TABELLENVERZEICHNIS.....	75
9.4.	ANHANG 1	76
9.5.	ANHANG 2	78
10.	DANKSAGUNG	86
11.	EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG	87

1. Einleitung

In den industrialisierten Ländern nehmen Patienten und Ärzte ganz selbstverständlich die Hilfen der Medizintechnik in Anspruch. In diesem Technologiebereich wird sehr intensiv an weiteren Fortschritten gearbeitet, um bessere technische Lösungen bereitzustellen. Auf stetige Erhöhung von Qualität und Effizienz wird dabei ein besonderer Schwerpunkt gelegt. Eine hohe Produktivität und Präzision werden zunehmend zur Grundvoraussetzung, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Unter diesen verschärften Marktgegebenheiten wird ein Wettbewerbsvorsprung vorwiegend durch Innovation und Geschwindigkeit erzielt. Da fragt man sich zu Recht: „Wo bleibt hier der Mensch als Individuum?“ Jeder der rund 60000 Zahnärzte in Deutschland ist individuell in seiner menschlichen Anatomie, in seinen Bedürfnissen, in seiner Art zu arbeiten, in seiner Ergonomie und in der Wahrnehmung seiner Umwelt.

Für die Dentalinstrumente Hersteller kann daher ein individuell für den Zahnarzt, auf seine während der Präparationsarbeit ergonomische Finger- und Handposition, angepasstes individuelles Zubehör für dentale Winkelstücke oder andere Instrumente ein Fortschritt in Richtung Produktivität, Präzision und Individualität bedeuten.

Bei der Entwicklung des individuellen Zubehöres galt es die genannten Aspekte, Qualität, Effizienz, Individualität, Innovation und Geschwindigkeit für dentale Winkelstücke umzusetzen.

Die im Rahmen dieser Studie gewonnenen Ergebnisse zur Individualisierung von Dentalinstrumenten mittels additiver Fertigung geben Aufschluss über die mögliche Etablierung individualisierter Instrumente in der Dentalinstrumentenbranche.

Zur Evaluation der Gebrauchstauglichkeit des entwickelten individuellen Winkelstück-Zubehöres wurden 72 Zahnmedizin studierende des ersten Fachsemesters der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der Ludwig Maximilian Universität (LMU), angewiesen, den rechten ersten unteren Molaren (FDI 46) eines Zahnmodells in einem Phantomkopf zur Versorgung mit einer Vollgusskrone zu präparieren.

Das Ziel der Studie ist es, zu bewerten, ob die Leistung der Zahnmedizin Studierenden durch die Verwendung ihrer individuellen Winkelstück-Zubehöre im Vergleich zum Standard-Winkelstücke messbare Auswirkungen auf die subjektive Wahrnehmung und Wirkung während des Instrumentengebrauchs und/oder auf die objektive Präparationsleistung, also die Präzision am Zahn, hat. Die subjektive Bewertung des individuellen Winkelstück-Zubehöres erfolgt durch die Einschätzungen der Studierenden. Die objektive Bewertung wird durch eine automatisierte Analyse der präparierten Zähne vorgenommen.

2. Literaturübersicht

Im folgenden Kapitel werden die medizinischen, technischen, prozessualen und methodischen Grundlagen für die durchgeführte Studie eingehend beschrieben und mit Verweisen auf die teilweise bereits vorhandene Literatur (wo nötig und sinnvoll) in den aktuellen Forschungsstand eingeordnet.

2.1. Medizinische Grundlagen zum Einsatz eines Winkelstückes

Die moderne Medizintechnik kombiniert Kenntnisse aus dem Bereich der Technik mit Hilfe der Konstruktionssystematik, um die Lebensqualität der Menschen zu verbessern. Ein Großteil der Arbeit in der Medizintechnik besteht aus Forschung und Entwicklung. Die Herstellung von Medizinprodukten und deren Zubehör hat das Ziel, sowohl das Leben mit einer Erkrankung lebenswert zu gestalten als auch die Diagnose, die Behandlung und den Umgang mit medizinischen Geräten zu erleichtern. Dieser Anspruch reicht vom einfachen Verbandsmaterial bis zu medizinischen Großgeräten und vollständigen Anlagen. Kennzeichnend ist ein hoher Forschungs- und Entwicklungsaufwand, der die Berücksichtigung medizinischer Besonderheiten während der Projektarbeit erfordert [51, 53].

Daher ist es für die vorliegende Untersuchung notwendig, hinsichtlich der „Herausforderung“ Karies und der damit verbundenen Behandlungsmöglichkeiten und Instrumente, in den folgenden Abschnitten eine Erläuterung der medizinischen und technischen Grundlagen zu geben. Die Themen Karies und Karies-Therapie sind wichtig, um den Grund des Instrumenteneinsatzes und Anforderungen zu verstehen und das Optimierungspotential des Instrumentes, in Form, Gestalt und Ergonomie, für den Zahnarzt und damit verbunden auch für den Patienten sichtbar zu machen [58].

2.1.1. Karies als „Volkskrankheit Nummer 1“

„Karies gilt nach wie vor als Volkskrankheit Nummer 1“ [43, 9, 68]. Mit dem Begriff Karies, auch Zahnfäulnis genannt, wird die Zerstörung der Zahnhartsubstanz, bestehend aus Zahnschmelz und Zahnbein (*Dentin*), durch Stoffwechselprodukte des Bakteriums *Streptokokkus mutans* bezeichnet (Abbildung 1).

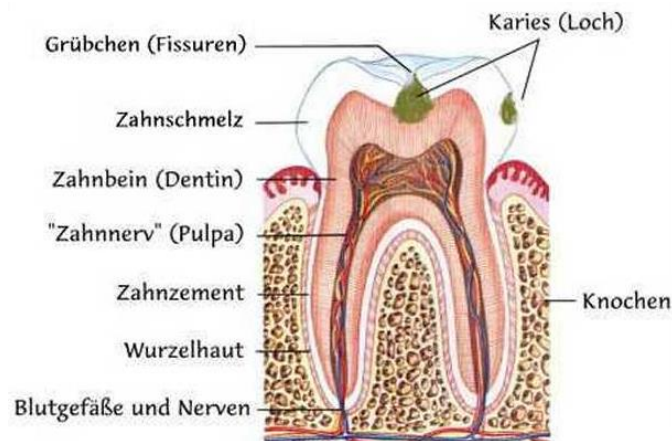


Abbildung 1: Ein von Karies befallener Zahn [73]

Der Querschnitt eines menschlichen Zahnes veranschaulicht die Zerstörung der Zahnhartsubstanz durch Karies.

Karieserkrankungen des Zahnhalteapparates sowie der dadurch bedingte Zahnverlust, zählen trotz aller Bemühungen zu den häufigsten Infektionserkrankungen der Menschheit. Die starke Ausbreitung der Erkrankungen des Mundraumes ist eng mit der Lebensweise, insbesondere dem erhöhten Konsum von Zucker, Alkohol und Tabak verbunden [6, 68].

Allerdings ist ein Rückgang der Karieserfahrung bei 12-Jährigen bereits ein Beleg für eine allgemein rückläufige Kariesprävalenz, sowie einen generellen Erfolg zahnärztlicher Präventionsbemühungen: „70 % der Kinder und 50 % der Jugendlichen haben heute ein kariesfreies Gebiss“ [20; 28].

2.1.2. Karies-Therapie durch Präparation und Restauration

Die Therapie der Karies richtet sich immer nach dem Stadium der Erkrankung.

Klassischerweise wird bei der Kariestherapie eine vollständige Entfernung allen infizierten und demineralisierten Dentins angestrebt, um anschließend eine Restauration des Zahnes durchzuführen. Die Notwendigkeit einer solchen vollständigen Kariesentfernung wird jedoch zunehmend bezweifelt. [56]

Ist nur der Zahnschmelz angegriffen (Initialkaries), liegt das Problem an einer Demineralisierung des Zahns. Hier kann der Zahn durch Zufuhr von bestimmten Mineralstoffen und Fluorid gerettet werden.

Im Stadium des Dentinkaries wird gerade kritisch diskutiert ob der befallene Anteil des Zahns entfernt werden muss (Präparation/Exkavation), um das Fortschreiten der Karies zu verhindern oder ob es auch andere Möglichkeiten gibt. Im Fall des Entfernens bohrt der Zahnarzt hierfür ein Loch in den Zahn, das mit einer Füllung versehen wird. Alternativ bieten sich Möglichkeiten der schmerzarmen Kariesbehandlung (KCP, Laserbohren, Carisolv, HealOzone) an [47].

Ist der Zahn so weit geschädigt, dass der Zahnarzt ihn nicht mehr retten kann, muss er gezogen werden. An die Stelle des fehlenden Zahnes kann später eine Brücke oder ein Zahnimplantat eingesetzt werden [47].

In den meisten Fällen kommt es zur Präparation des Zahnes, das bedeutet Beschleifen des Zahnes, also den Substanzabtrag am Zahn mit rotierenden Instrumenten, Schleifkörpern oder Fräsen.

Das Präparieren erfolgt unter Wasserkühlung, um Überhitzungsschäden am Zahn zu vermeiden. Eine Präparation sollte minimal-invasiv und nach dem Prinzip „nur so viel wie nötig und so wenig wie möglich“ erfolgen.

Da es im Laufe der Studie um die Präparation für eine Vollgusskrone gehen wird, soll weiterhin der Fokus auf die Restauration von Zähnen durch Überkronung gelegt werden.

2.1.3. Restauration von Zähnen durch Überkronung

Einen wichtigen Teil des Promotionsvorhabens bildet die objektive Bewertung der Zubehör-Gebrauchstauglichkeit. Um die Gebrauchstauglichkeit objektiv bewerten zu können, wurde die Präparation für eine Vollgusskrone bzw. die Restauration von Zähnen durch Überkronung untersucht.

Bei der Restauration von Zähnen durch Überkronung ersetzen künstliche Kronen Teile der natürlichen Zahnkrone (Teilkrone) oder die Zahnkrone (Vollkrone) selbst. Sie überdecken oder ersetzen den entsprechend präparierten Zahnstumpf teilweise oder vollständig und kommen zum Einsatz, wenn ein Zahn durch konservierende Maßnahmen nicht mehr restauriert werden kann [39, 38]. Der dauerhafte Schutz des zerstörten Zahnes, sowie die genaue Nachbildung der anatomischen und funktionellen Form stehen hierbei im Vordergrund [63, 35].

Jede Überkronung setzt als Vorbereitung die Präparation des Zahnes voraus. Die Präparation bildet die entscheidende Grundlage für die Passung, Funktionalität und Lebensdauer der künstlichen Zahnkrone.

2.1.4. Präparationsanforderungen für eine Vollgusskrone

Um die idealen Voraussetzungen für eine optimal sitzende und passende Zahnkrone zu schaffen, ist die Präparation des Zahnstumpfes entscheidend [7, 59]. Ein gut präparierter Zahnstumpf ist Abhängig vom Zahnarzt, seiner Erfahrung, seinen Instrumenten und seiner Präparationsmethode. Für die vorliegende Arbeit ist es wichtig eine konstante Vergleichsgrundlage für die objektive Bewertung der Präparationsleistung in Abhängigkeit vom Instrument zu haben, daher wird in diesem Kapitel die Entscheidung für die Verwendung der Hohlkehlpräparation begründet.

Dabei gilt es bei allen Präparationsmethoden immer darauf zu achten, dass so viel Zahnhartsubstanz (Schmelz und ein Teil des Dentins) abgeschliffen wird, dass genügend Platz für den prothetischen Werkstoff und die Wiederherstellung des Zahnes vorhanden ist [45, 59].

Als Präparationsformen für eine Vollgusskrone sind Hohlkehl- oder Tangentialpräparationen möglich. Diese wirken sich auf die Kronenrandgestaltung aus (Abbildung 2).

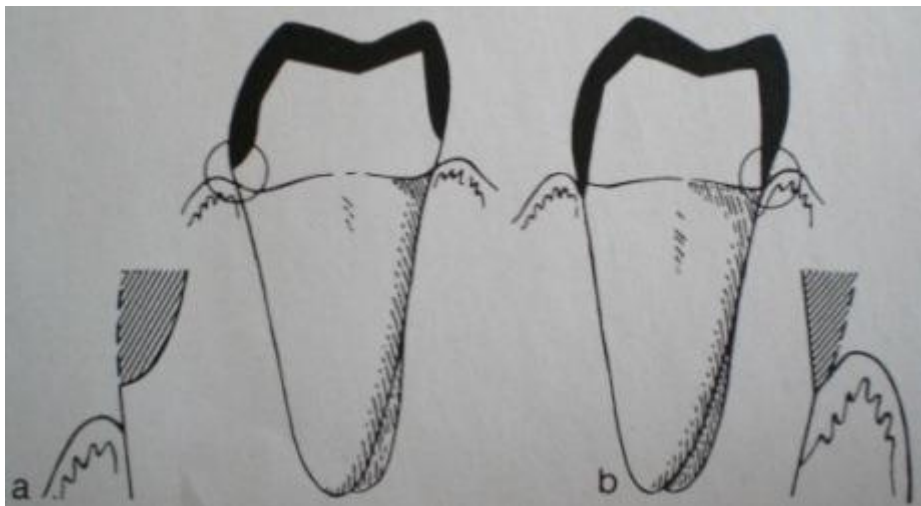


Abbildung 2: Randgestaltung bei Vollgusskronen [55]

- a) Kronenrandgestaltung mit einer Auskehlung (Hohlkehlpräparation)
b) Kronenrandgestaltung mit nicht eindeutig erkennbarem Rand bei Tangentialpräparation

Die Vollgusskronen sollen den natürlichen Zahn teilweise oder vollständig bis zum Zahnhals bedecken [45, 55]. Der Kronenrand kann supragingival, paragingival (äquigingival) oder auch subgingival verlaufen (Ludwig und Niedermeier 2002). Die supragingivale und paragingivale Lage des Kronenrandes haben den Vorteil, dass das Parodontium geschont wird [70]. Von Nachteil ist bei der Kronenform mit Tangentialpräparation, dass durch den nicht eindeutig definierten Randabschluss der Krone leicht Fehlpassungen und damit Irritationen der Gingiva auftreten können.

Bei der Hohlkehlpräparation können hingegen Präparationsgrenzen geschaffen werden, die sowohl auf dem Zahn, als auch auf dem Modell gut erkennbar sind [57]. Die Randschlussqualität ist deutlich verbessert, denn die Hohlkehlpräparation hat geometrische Vorteile. Bezüglich der Breite der Zementfuge am Rand gibt es günstigere Bedingungen für die Langzeitstabilität im Verhältnis zur „zervikalen Diskrepanz“ [70, 57, 23, 45].

Bei der Kronenpräparation ist eine stark konische Präparation nicht empfohlen, weil die Haftung der künstlichen Krone am Kronenstumpf vermindert ist und sich die Gefahr einer Pulpaverletzung erhöht. Das bedeutet, es sollte darauf geachtet werden, dass der präparierte Kronenstumpf möglichst parallelwandig, d.h. nach okklusal hin nur leicht konisch verläuft (Abbildung 3).

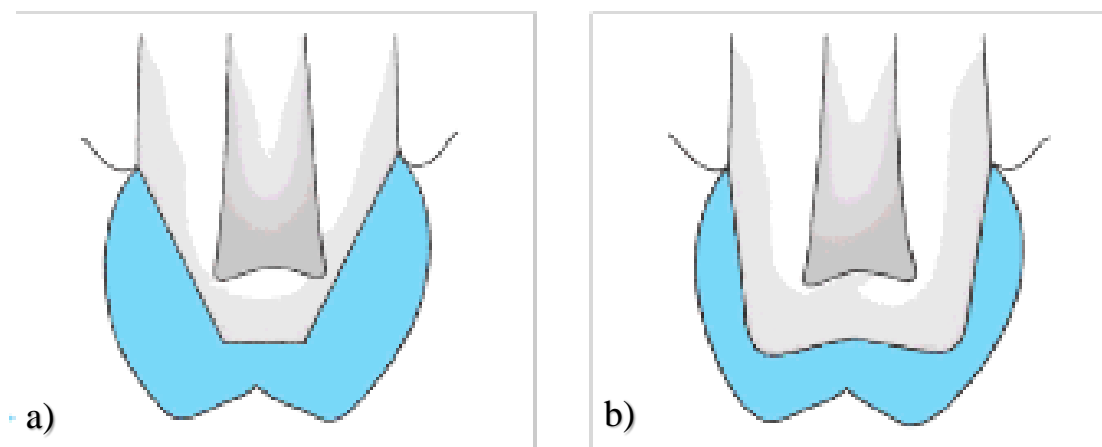


Abbildung 3: Winkelanforderung bei Vollgusskronen [39]

a) Stark konische Präparation

b) Leicht konischer Kronenstumpf

Die Rekonstruktion einer Zahnkrone in ihrer ursprünglichen Form erfordert einen ausreichenden Abtrag an Zahnhartsubstanz, dessen Ausmaß sich nach dem verwendeten Kronensystem richtet. Dabei darf eine Mindestdicke des Dentins nicht unterschritten werden. Die Kontrolle der Präparationstiefe kann mittels Widerstandsmessung erfolgen. Eine Mindesthöhe der leicht konisch präparierten Wände von ca. 3 mm sollte möglichst nicht unterschritten werden. Auch die Kauflächen des zu überkronenden Zahnes werden abgetragen, um Platz für die Kaufläche der künstlichen Krone zu schaffen.

Der Konuswinkel ist der einfache Präparationswinkel. Da die Retentionsform des Stumpfes für den Halt der Krone sehr wichtig ist [55], wird die leicht konische Präparationsform bevorzugt. Die Meinungen zum angestrebten Konvergenzwinkel der vertikalen Flächen zur Zahnachse gehen auseinander. Bei Untersuchungen an von Studierenden gefertigten realen Kronenpräparationen wurden von Shillingburg (1988) Konvergenzwinkel von 13 bis 29 Grad gefunden.

Bei von Eames et al. in zahntechnischen Laboren gesammelten Modellen wurde ein mittlerer Konvergenzwinkel von 20 Grad genannt [57]. Kent und Mitarbeiter ermittelten an von erfahrenen Zahnärzten im Mund präparierten Zähnen, Konvergenzwinkel von 8,6-26,6 Grad [57]. Als klinisch erreichbar sieht man deshalb bei einer noch ausreichenden Retention einen durchschnittlichen Konvergenzwinkel von ca. 15 Grad an [23, 57, 19, 70].

Die Richtwerte [23, 57, 19, 39] kann man in der nachfolgenden Tabelle 1 kurz zusammenfassen:

Messgrößen	Allg. Richtwerte
Präparationstiefe untere Frontzähne, obere seitliche Schneidezähne, grazile Prämolaren mit zervikaler Einziehung:	0,8-1,0 mm
Präparationstiefe obere mittlere Schneidezähne:	1,0-1,3 mm
Präparationstiefe für Molaren und Prämolaren und Eckzähne:	1,3-2 mm
Mindesthöhe der leicht konischen Wände:	ca. 3 mm
Konvergenzwinkel:	3-6° oder 6-12° aber nicht > 15°

Tabelle 1: Empfehlungen zur Hohlkehlpräparation einer Vollgusskrone [23, 57, 19, 39]

2.1.5. Das Präparationsinstrument mit Winkelstück

Zur Präparation einer Hohlkehlpräparation für eine Vollkusskrone ist der Einsatz eines Dentalschleifers unumgänglich. Das Dentalhandstück dient dabei als Verbindungsstück zwischen Bohrmaschine und Schleifer und ist somit besonders wichtig für die Instrumentenhandhabung. Das Dentalhandstück ist nicht nur das Verbindungsstück zwischen Bohrmaschine und Schleifer, es stellt viel mehr auch die direkte Schnittstelle zum Zahnarzt dar. Es ist ein Übertragungsinstrument, mit dem eine Rotationskraft auf den Schleifer übertragen wird.

In der Zahnmedizin werden bei der Behandlung von erkrankten Zähnen neben geraden Dentalhandstücken auch abgewinkelte Handstücke verwendet, die als Winkelstücke bezeichnet werden (Abbildung 4 und Abbildung 5 [34]):



Abbildung 4: Dentalhandstück gerade
KaVo GENTLEpower LUX 10LP



Abbildung 5: Dentalwinkelstück
KaVo GENTLEpower LUX 7LP:
Dient im Verlauf der Arbeit als Forschungsgrundlage

Handstücke werden ebenfalls in der Zahntechnik zur Bearbeitung von Kronen, Brücken und Prothesen verwendet. Sowohl die in der Zahnarztpraxis als auch im Dentallabor gebräuchlichen geraden Handstücke werden mit der gesamten Hand umfasst und vom Daumen geführt, um bei ausreichender Griffsicherheit genügend Kraft übertragen zu können. Die nur in der Zahnarztpraxis benutzten abgewinkelten Winkelstücke werden mehr wie ein Schreibinstrument gehalten, da weniger Kraft übertragen werden muss, aber dafür filigraner gearbeitet wird (Abbildung 6).



Abbildung 6: Winkelstück im Einsatz am Phantomkopf [5]

Das Schleifinstrument und das dazugehörige Winkelstück als Schnittstelle zur Hand des Zahnarztes sind besonders wichtig für den Zahnarzt, es entscheidet über eine sichere und präzise Instrumentenführung.

Die Aussage: „Der Zahnarzt verbringt viel Zeit mit seinem Winkelstück!“[54] unterstreicht diese Relevanz. Um das Winkelstück in seiner Schnittstelleneigenschaft zu optimieren wurde ein Zubehör entwickelt, das den Anforderungen, Wünschen und Vorstellungen des Anwenders in Bezug auf die Instrumentenführung, Haptik und Optik entspricht.

2.2. Das individuelle Winkelstück-Zubehör

Das individuelle Winkelstück-Zubehör bildet die Grundlage für die nachfolgenden Untersuchungen der Gebrauchstauglichkeit [74; 75]. Die Anforderung ein anwenderorientiertes individuelles Design zu konzipieren, ist die Basis für die Produktentwicklung des individuellen Winkelstück-Zubehöres [49; 10; 11; 22; 26]. Der genaue Prozessablauf zur Entwicklung des individuellen Winkelstück-Zubehöres mit den in Abbildung 7 gezeigten Prozessschritten, wird solange durchlaufen, bis ein serienreifer Prototyp entstanden ist, der allen Spezifikationen genügt [49; 13]:

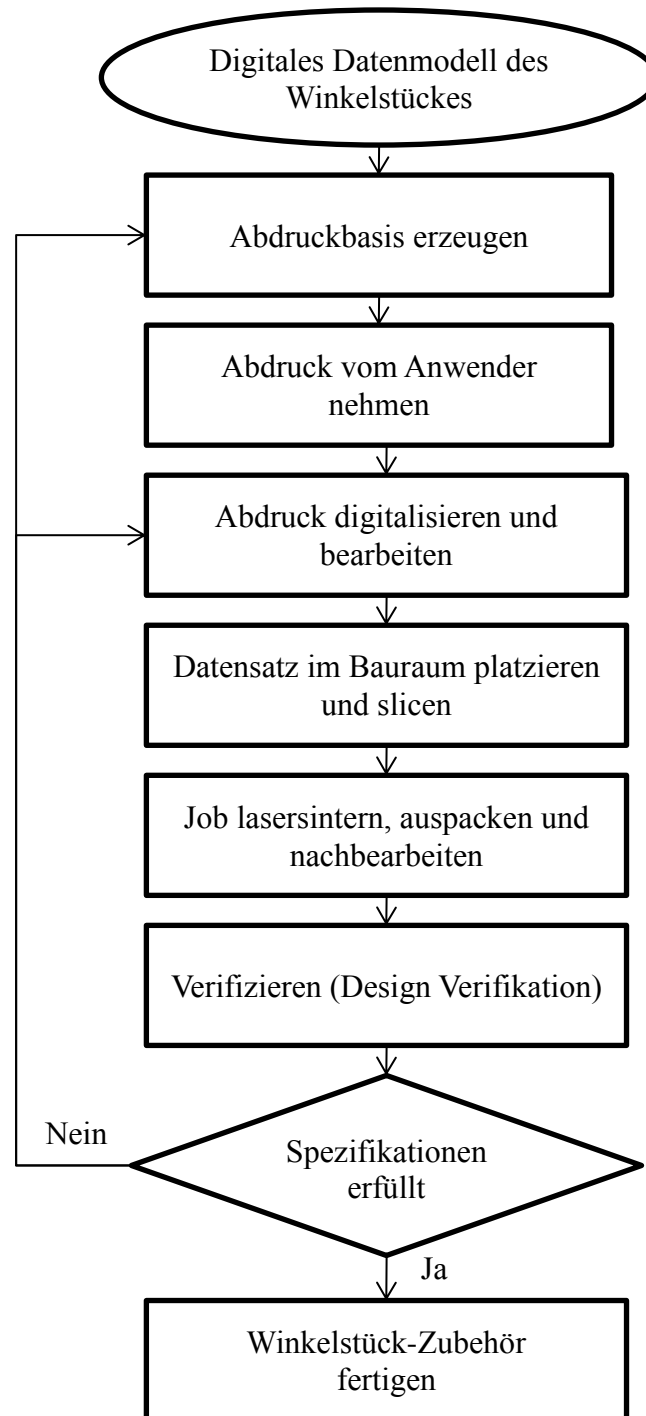


Abbildung 7: Prozessablauf der Entwicklung des individuellen Winkelstück-Zubehöres

Das entstandene individuelle Winkelstück-Zubehör besitzt eine personifizierte Hand-und Fingerform und ist somit individuell und ein Unikat für jeden Zahnarzt. Das individuelle Winkelstück-Zubehör wird mit einer Schnapp-Clip-Verbindung am Winkelstück befestigt. Das Zubehör soll ein Mehrwegartikel und aus biokompatiblen Kunststoff (PA 2200) sein [71].

Es wird durch Selektive Lasersintern gefertigt und durch Strahlen nachbearbeitet [69, 72]. Anschließend kann es eingefärbt oder beschichtet werden und/oder durch Besetzen mit Swarovski-Steinen veredelt werden (Abbildung 8).

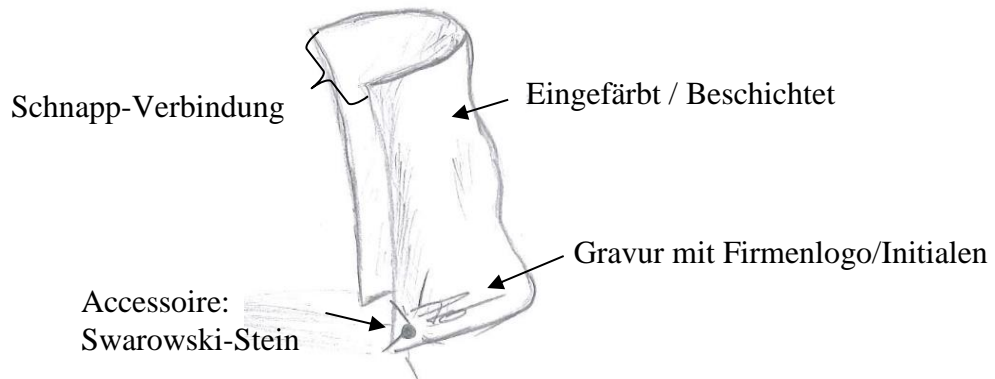


Abbildung 8: Favorisierte Lösungsvariante, individuelles Winkelstück-Zubehör aus PA 2200 lasergesintert und durch Accessoires veredelt [49]

Abschließend wird das Produkt sterilisiert und verpackt.

Die entstandene individuelle Winkelstück-Zubehör Variante bildet somit die Basis für die Durchführung der subjektiven und objektiven Bewertung des individuellen Winkelstück-Zubehöres. Die Messmethoden zur Design-Wahrnehmung und zur Gebrauchstauglichkeit werden im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

2.3. Messmethode zur Design-Wahrnehmung

Kunststoffprodukte sind aus dem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Neben der sicheren Funktionalität und den geforderten Gebrauchseigenschaften spielen bei Kunststoffprodukten Design, Optik und Haptik eine wesentliche Rolle [37].

Die Möglichkeit des Kunststoffs, damit Materialien imitieren zu können, macht „Kunststoff zum Chamäleon unter den Werkstoffen.“[40] Kunststoff kann so gut wie kaum ein anderer Werkstoff Anforderungen und Wünsche an Design, Optik, Haptik und Funktion eines Produktes erfüllen [48].

Die Möglichkeit, Kühle oder Wärme auszustrahlen, hart und kantig oder weich und anschmiegsam zu erscheinen, macht ihn einmalig. Seine Fähigkeit, die unterschiedlichsten Signale auszusenden, seine Form anzugleichen sowie seine Struktur und Farbe anzupassen, gilt es zu nutzen, wenn es um Design, Ästhetik und Formensprache geht.

Daher muss in der Produktentwicklung darauf geachtet werden, den Kunststoff so in Form und Gestalt zu bringen, dass er die Funktionen erfüllt und zugleich die Schnittstelle zwischen Mensch und Technik bildet. Sowohl als Designer als auch als Produktentwickler gilt es zu verstehen, welche visuellen und haptischen Signale die Produktnutzer, in dem Studienfall Zahnärzte und Patienten wahrnehmen und wie sie mit dem Wahrgenommenen umgehen.

Ein Weg, dies zu erfahren, ist die Nutzung eines visuellen Fragesystems, das die Persönlichkeit von Zahnarzt erfasst und die Möglichkeit bietet, diese Erkenntnisse in ein individuelles Design umzusetzen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine Erkrankung wie Karies (je nach Stadium) zumindest die Wahrnehmungs- und Beurteilungsfähigkeit des Patienten verändern kann. Des Weiteren sind bestimmte Funktionsmuster im Umgang mit dem Instrument während der Behandlung des Patienten zu berücksichtigen, damit der Zahnarzt alle Funktionen annimmt, die das Winkelstück-Zubehör zur besseren Kontrolle und Handhabung bietet. Das visuelle Fragesystem, der Visual Questionnaire (ViQ), ist ein visueller Test, der Persönlichkeitsmerkmale auf der Basis von „Psychologischen Typen“ von C.G. Jung anhand von Unterschieden in der Wahrnehmung von einfachen Abbildungen misst [61; 40].

Die Persönlichkeit des Zahnarztes drückt sich dadurch aus, wie er auftritt, handelt und entscheidet. Um festzustellen, ob das individuelle Winkelstück-Zubehör für den Zahnarzt passend entwickelt wurde, sollte versucht werden, das Wahrnehmungsmuster des potentiellen Zahnarztes, der Zahnmedizin Studierenden, zu verstehen.

Das heißt:

- Verstehen, wie der Zahnarzt auf Formen, Farben und Materialien reagiert, welche er annimmt und welche er ablehnt.
- Verstehen, warum ein Zahnarzt zufrieden oder frustriert ist, wenn er mit seinem Instrument arbeitet.
- Bedenken, dass Patienten, die unter einer Erkrankung leiden und Schmerzen haben (wie bei fortgeschrittenem Karies) sensibler die Umwelt wahrnehmen als gesunde Menschen.

2.4. Messmethoden zur Gebrauchstauglichkeit des Winkelstück-Zubehöres

Was nun folgt ist die Methodenbeschreibung der Gebrauchstauglichkeitsanalyse. In der Norm DIN EN 9241-11 wird Gebrauchstauglichkeit als „das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufrieden stellend zu erreichen“ [14] definiert. Vom rein sprachlichen Gesichtspunkt aus betrachtet, bedeutet Gebrauchstauglichkeit, das Produkt taugt zum Gebrauch. Dabei ist die Gebrauchstauglichkeit in hohem Maße vom Nutzer, Nutzungskontext und -zielen sowie der Qualität des Zusammenspiels abhängig [32; 67]. Die Abhängigkeiten im medizinischen Arbeitsumfeld, wie in der Abbildung 9 veranschaulicht, zeichnen sich durch das tägliche Zusammenspiel von Aufgabe, Anwender und Gerät am Patienten in einer Arbeitsumgebung aus [8; 64].

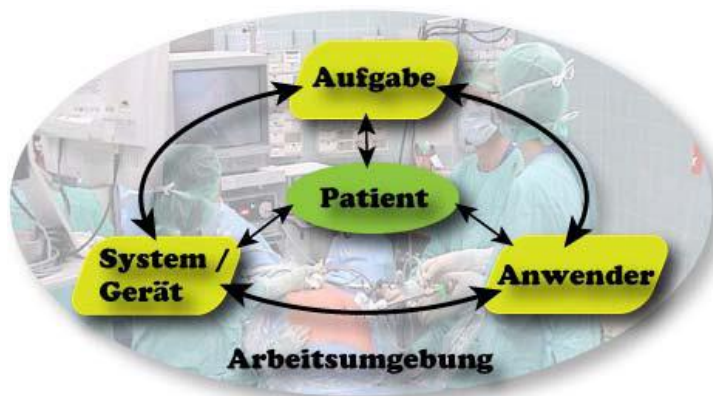


Abbildung 9: Abhängigkeiten im medizinischen Arbeitsumfeld [8]

Durch die Einführung der Zusatznorm DIN EN IEC 60601-1-6 [12; 33] müssen seit 2006 Hersteller medizinisch-elektrischer Geräte und seit 2008 durch die Norm DIN EN IEC 62366 Hersteller aller medizinischen Geräte die Gebrauchstauglichkeit ihrer Geräte nachweisen, um für diese eine CE-Kennzeichnung zu erhalten [58].

Für eine CE-Kennzeichnung des individuellen Winkelstück-Zubehöres, muss das Produkt daher nicht nur einfach zu verwenden sein, sondern auch eine ausreichende Funktionalität für die Aufgabenbewältigung bieten. Dabei ist die Gebrauchstauglichkeit auch immer abhängig von dem „bestimmten Benutzer“, der z.B. in Ausbildung, Kenntnisstand und Alter variieren kann, und vom Nutzungskontext, in dem das Produkt verwendet wird. Die Gebrauchstauglichkeit stellt daher eine Nutzungsqualität und keine Produktqualität dar [14]. Die Zufriedenstellung des Nutzers ist daher ein wesentliches Gebrauchskriterium. Das Gebrauchstauglichkeitskriterium der Zufriedenstellung wird durch subjektive Maße gemessen.

2.4.1. Subjektive Analyse der Gebrauchstauglichkeit

Das Gebrauchstauglichkeitskriterium der Zufriedenstellung beschreibt die Einstellungen des Nutzers zur Nutzung des Produktes. Die Zufriedenstellung ist durch verschiedene Methoden evaluierbar; sie kann gemessen werden durch z. B.:

- den erfahrenen Grad der Beeinträchtigung,
- die subjektive Wertschätzung des Produktes,
- die Zufriedenheit mit der Nutzung,
- die Akzeptanz der Beanspruchung bei Ausführung verschiedener Aufgaben mit dem Gerät, wobei bestimmte Ziele der Gebrauchstauglichkeit als erfüllt angesehen werden,
- die Anzahl positiver und negativer Äußerungen während der Nutzung [14].

Diese subjektiven Maße sind im Vergleich zu objektiven Kriterien „effektiv und effizient“ schwerer zu bestimmen. Dafür gibt es verschiedene Methoden, um diese quantitativ und qualitativ zu erfassen [8]. Für die Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit des individuellen Winkelstück-Zubehöres wird ein Nutzertest durchgeführt. Der Nutzertest gehört zu den weit verbreitetsten und zuverlässigsten Methoden, um die Gebrauchstauglichkeit eines Produktes zu ermitteln [4]. Unter einem Nutzertest (auch Gebrauchstauglichkeitstest, Usability Test, Laborexperiment oder Benutzertest genannt) wird die empirische Evaluation der Gebrauchstauglichkeit eines Produktes verstanden.

2.4.2. Objektive Analyse der Gebrauchstauglichkeit

Die objektive Analyse der Gebrauchstauglichkeit erfolgt durch die Evaluierung der Präparationsergebnisse resultierend aus dem Nutzertest. Denn das Langzeitergebnis einer Restauration hängt in hohem Maße von der ordnungsgemäßen Präparation des Zahnes ab [60]. Die Präparation schafft die geometrischen Voraussetzungen zur Aufnahme von festsitzendem Zahnersatz durch Beschleifen des Zahnes [23].

Welches Ziel bei der Präparation eines Zahnes verfolgt und welche Krone hergestellt werden soll, muss frühzeitig berücksichtigt werden. Die Präparation des Zahnes steht am Anfang vieler Arbeitsschritte. Dabei ist zu bedenken, dass die Präparation in vielen Fällen nicht mehr korrigierbar ist. Entfernte Zahnhartsubstanz ist nicht mehr zurückzuholen. Alle danach folgenden Arbeitsschritte dagegen können wiederholt werden [41].

Also sollte immer nur so viel Zahnhartsubstanz (Schmelz und ein Teil des Dentins) abgeschliffen werden, dass ausreichend Platz für den prothetischen Werkstoff und die Wiederherstellung des Zahnes vorhanden ist [45].

Der benötigte Platz richtet sich dabei nach der Kronenart und der Frage, ob es sich um eine Front- oder Seitenzahnkrone handelt [70].

Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt zusammengefasst einige Forderungen aus der Literatur zur Wandstärke von Vollgusskronen, welche ein Teil der Bewertungsgrundlage für die folgende objektive Analyse bildet:

Autor	Axiale Wandstärke (in mm)	Okklusalfäche (in mm)
Kimmel (1997)	0,3-0,5	0,6-1,0 je nach Belastung
Köck (1999)	0,3-0,5	1,0
Goodacre et al. (2001)	> 0,3	--
Lange (2001)	0,3-0,5	--

Tabelle 2: Angaben für Mindeststärken bei einer Vollgusskrone im Überblick [70]

Die vergleichsweise geringen Wandstärken haben den Vorteil, Substanz schonend präparieren zu können. Insgesamt stellen Vollgusskronen die am längsten verwendeten, aber auch die langlebigsten prothetischen Versorgungen dar, wobei eine Tragedauer von mehr als 20 Jahren keine Seltenheit ist [36, 35, 70].

2.4.3. Messgrößen der objektiven Analyse

Untersuchungen zu Präparationsarten zeigten, dass die Hohlkehlpräparation die am häufigsten eingesetzte Präparationsart (69,3 %) ist [70]. Daher wird im Folgenden noch einmal genauer auf die Präparationsart Hohlkehlpräparation und die damit verbundenen Messgrößen bzw. Anforderungen eingegangen, um die Gebrauchstauglichkeit des Winkelstück-Zubehöres am Präparationsergebnis objektiv überprüfen zu können.

Wie bereits erwähnt, ist die Hohlkehlpräparation die in der Zahnmedizin gebräuchlichste Art des Beschleifens von einem Zahn zur Aufnahme einer künstlichen Zahnkrone mit Anlage einer hohlkehlartigen Präparationsgrenze. Mittels speziell geformter Diamantschleifer soll die hohlkehlartige Präparationsgrenze so gestaltet werden, dass nach Eingliedern der fertigen Krone ein glatter Übergang zwischen Zahn und künstlicher Krone besteht. Die Präparationsgrenze ist also die Grenzlinie zwischen beschliffener und unbeschliffener Zahnschubstanz. Bei der Hohlkehlpräparation wird beim Abschleifen vom Zahn eine Ausrundung zirkulär um den Bereich des Zahnhalses (Zahnhalsbereich) geschliffen. In diesem Bereich weist die spätere Zahnkrone nach der Überkronung eine stabilere Materialstärke auf [Lex15].

Die für die objektive Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit des Zubehöres verwendeten Richtwerte kann man in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammenfassen:

Messgrößen	Allg. Richtwerte
Präparationstiefe für Molaren und Prämolaren:	1,3-2 mm
Mindesthöhe der leicht konischen Wände:	ca. 3 mm
Konvergenzwinkel:	6-12° aber nicht > 15°
Stufenbreite	0,5 mm

Tabelle 3: Messgrößen zur Gebrauchstauglichkeitskontrolle am Präparationsergebnis [23; 39].

2.4.4. Vermessungsprogramm der LMU zur objektiven Analyse

Die objektive Analyse von Dentalpräparationen ist ein wichtiges Werkzeug zur Überprüfung der Präparationsarbeit in der studentischen Ausbildung und der klinischen Forschung. Nicht nur der praktisch tätige Zahnarzt kann durch den Einsatz von moderner Technologie wie Chairside Systemen oder Intraoralscannern seine Effizienz steigern.

Besonders in der studentischen Ausbildung sollte moderne Technologie zum Einsatz kommen, um die Ausbildung zu verbessern und auf dem aktuellen Stand der Technik zu bleiben.

CAD-unterstützte Lehrprogramme können Hilfestellung bei der Bewertung leisten, indem die erstellten Präparationen mit einer Referenzpräparation verglichen und Abweichungen dargestellt werden können [1]. Dem Studierenden kann somit ein objektives Leistungsfeedback seiner Arbeit gegeben werden. Es ist zu beachten, dass bei diesem Verfahren immer ein Vergleichsreferenzkörper vorhanden sein muss. In der klinischen Forschung, also bei der Präparation von natürlichen Zähnen, ist der Vergleich mit einem Referenzkörper nicht sinnvoll, da es eine unbegrenzte Anzahl von Zahnformen und Präparationsmöglichkeiten gibt. Für die Bearbeitung von wissenschaftlichen Fragestellungen ist daher eine andere Vorgehensweise zu wählen.

Hierfür bieten sich Konstruktionsprogramme an, die Mithilfe von Messprogrammen die Zahnpräparation vermessen. Der Nachteil dieser Konstruktionsprogramme ist jedoch der hohe Zeitaufwand zur Vermessung von präparierten Stümpfen. Da jedoch die objektive Beurteilung von Stumpfpräparationen eine hohe praktische Relevanz besitzt, ist es notwendig, den Zeitaufwand zu verringern. Die Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg entwickelte 2013 ein Vermessungsprogramm das die Stumpfpräparation analysiert [31]. Der Zeitaufwand konnte reduziert werden, jedoch sind auch hier weiterhin Benutzereingriffe zur Stumpfanalyse notwendig. Um den personellen und zeitlichen Aufwand weiter zu reduzieren, entwickelte die Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der LMU München eine Software, die es ermöglicht, große Datenmengen ohne Benutzereingriffe zu analysieren. Dadurch können auch große Datenmengen für klinische Fragestellungen zu Verfügung gestellt werden, die auf Grund der Datengröße sonst nicht hätten bearbeitet werden könnten [18].

Die Parameter, welche für die Qualität einer Präparation ausschlaggebend sind, wurden von [27, 25] entnommen und finden sich in der Variationsparameterliste der LMU Software wieder.

Folgende Parameter sind für die Präparationsqualität ausschlaggebend:

- Präparationswinkel
- Präparationslänge
- Konvergenzwinkel
- Stufenbreite
- Stumpfhöhe
- Präparationsrandwinkel
- Unterschnitte
- Dachrinnen

Die einzelnen Stumpfdateien werden durch das Programm sequenziell abgearbeitet. Der Untersuchungsbereich der Analyse beträgt 360 Grad.

Das Programm analysiert nach mathematischen Methoden die Stumpfpräparationen vollautomatisch. Durch die Surface Tessellation Language (STL) -Datei der Stumpfgeometrie werden Schnitte gelegt, die im definierten Analysebereich liegen. Die Anzahl der Analyseschnitte ist unbegrenzt. Durch eine Erhöhung der Schnittanzahl ist eine Verbesserung der Aussagekraft der Analyse möglich, welche jedoch die Bearbeitungszeit beträchtlich erhöht. Die Speicherung der erhaltenen Analyseergebnisse erfolgt in einer relationalen Datenbank. Dadurch stehen sie für eine weitere Gesamtanalyse zur Verfügung. Es erfolgt die Übergabe der Daten zwischen dem 3D-Scanner mit dem Analyseprogramm und dem Analyseergebnis in das Statistikprogramm 22 (SPSS Statistic Version 22, IBM Deutschland GmbH, Ehningen). Die Darstellung der Analysedaten ist als Berichtsform, Tabellenform sowie als Vergleichsdiagramm möglich.

Es wird folgende Verfahrenskette durchlaufen:

1. Einscannen aller Stümpfe mit einem 3D-Digitalscanner
2. Abspeichern der digitalisierten Stümpfe in ein STL-Format
3. Ausführung des Kennwertprogrammes .
 - 3.1 Analyse aller Stümpfe und Speicherung der Informationen in einer relationalen Datenbank
 - 3.2 Ausgabe der Kennwerte in Tabellen oder in einer Berichtsform
4. Darstellung der Stumpfinformationen in einem Visualisierungsprogramm
5. Darstellung der Kennwertinformationen in Diagrammen
6. Archivierung der Daten
7. Daten stehen zur Verfügung [18]

Für die objektive Analyse der Präparationsleistung der Zahnmedizinstudierende wird genau die beschriebene Prozesskette durchlaufen und die Ergebnisse in Tabellenform und als Vergleichsdiagramm dargestellt.

3. Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein individuell für den Zahnarzt, auf seine während der Präparationsarbeit ergonomische Finger- und Handposition, angepasstes Zubehör für dentale Winkelstücke, also ein individuelles Winkelstück-Zubehör, herzustellen und dieses auf Gebrauchstauglichkeit aus subjektiver und objektiver Sicht zu evaluieren.

Zur Evaluation der praktischen Auswirkung des individuellen Winkelstück-Zubehöres wurden 72 Zahnmedizinstudierende des ersten Fachsemesters der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der Ludwig Maximilian Universität (LMU), angewiesen, den rechten ersten unteren Molaren (FDI 46) eines Zahnmodells in einem Phantomkopf zur Erstellung einer Vollgusskrone zu präparieren.

Die Studierenden erprobten gemeinsam während des Präparationskurses die Gebrauchstauglichkeit des Winkelstückes mit und ohne Zubehör, indem sie eine Hohlkehlpräparation an einem Phantomkopf durchführten. Die Studierenden der Gruppe A verwendeten dabei einen Dentalschleifer mit individuellem Zubehör und die Studierenden der Gruppe B verwendeten einen Dentalschleifer ohne Zubehör.

Das Ziel der Studie ist es, zu untersuchen und zu bewerten, ob die Verwendung des individuellen Winkelstück-Zubehöres an Stelle eines Standard-Winkelstückes einen messbaren Einfluss auf die Präparationsleistung der Zahnmedizin Studierenden in der subjektiven Wahrnehmung und Wirkung während des Instrumentengebrauchs und/oder in der objektiven Präparationsleistung, also die Präzision am Zahn, hat.

Um die subjektive Bewertung durchzuführen, wurden die Studierende nach ihrer Meinung und Wahrnehmung des individuellen Winkelstück-Zubehöres und des Standard-Winkelstückes während der Präparationsarbeit befragt. Die objektive Analyse erfolgte mit Hilfe des Vermessungsprogramms der LMU am präparierten FDI 46.

Weiterhin wurde eine Studie zur Design-Wahrnehmung der Studierenden durchgeführt, um eine Aussage zu bestimmten optischen und haptischen Design Wahrnehmungen am individuellen Zubehör treffen und in Verbindung mit der subjektiven Wahrnehmung bringen zu können.

Konkret sollten folgende Hypothesen überprüft werden:

1. Individuelle Winkelstück-Zubehöre wirken sich positiv auf die Präparationsarbeit (sicheres Instrumentenhandling, positive Einstellung zum Instrument und zur Arbeit mit dem Instrument) aus.
2. Individuelle Winkelstück-Zubehöre wirken sich positiv auf die Präparationsleistung (korrekte und präzise Zahnpräparation) aus.

4. Material und Methode

Das Kapitel Material und Methode beginnt mit einer Übersicht über den chronologischen Versuchsablauf. Anschließend befasst es sich mit dem Herstellungsprozess des individuellen Winkelstück-Zubehöres. Des Weiteren beschreibt es den Aufbau und Ablauf der Studie zur Design Wahrnehmung der Probanden und zur subjektiven und objektiven Gebrauchstauglichkeitsbewertung des individuellen Winkelstück-Zubehöres.

4.1. Übersicht

Abbildung 10 zeigt den chronologischen Versuchsablauf beginnend mit der Herstellung der individuellen Zubehöre bis hin zur subjektiven und objektiven Bewertung des Winkelstückes mit individuellen Zubehör im Vergleich zum Standard Winkelstück.

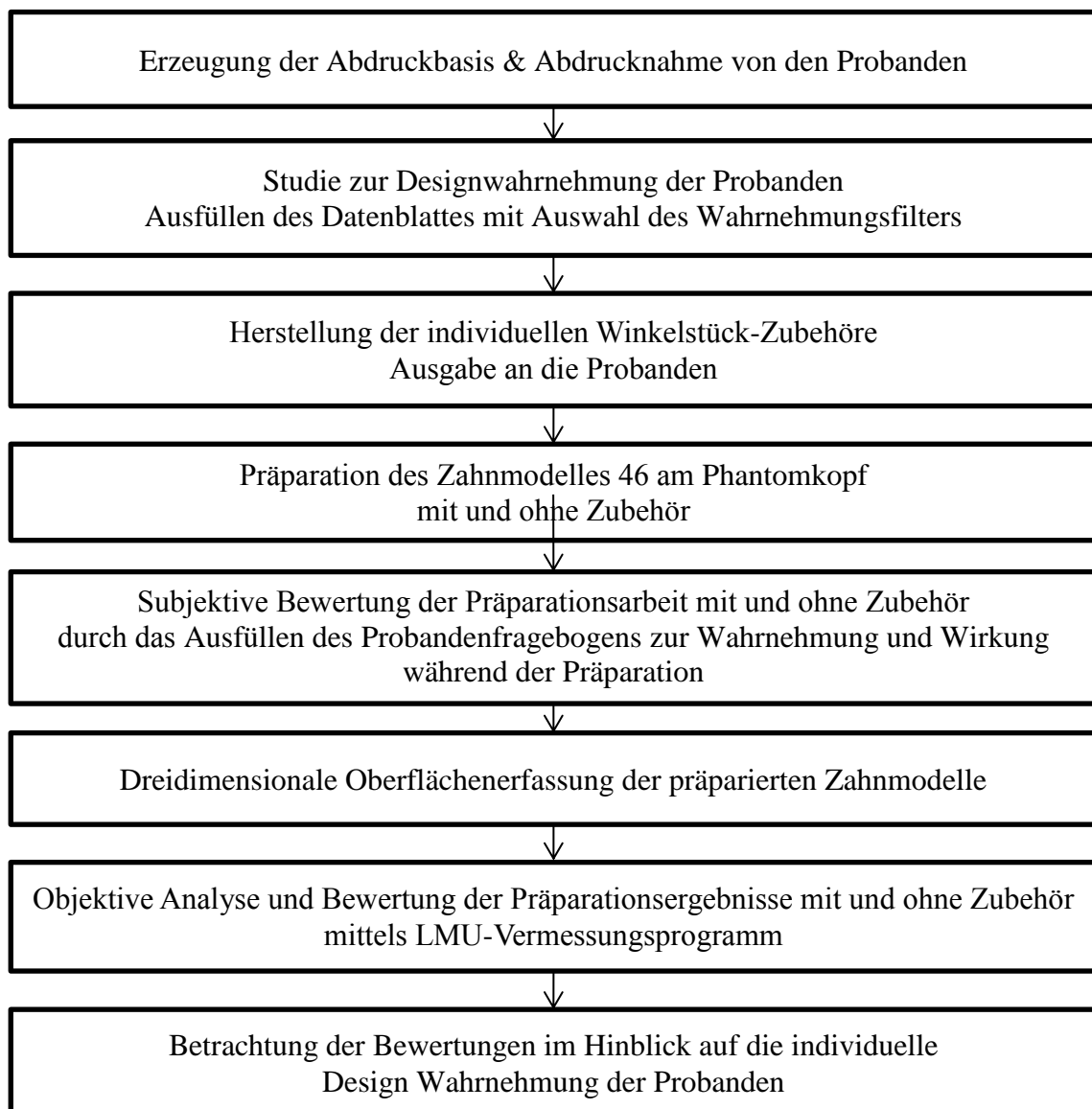


Abbildung 10: Chronologischer Ablauf der Versuchsreihe

4.2. Herstellung der individuellen Winkelstück-Zubehöre

Die Herstellung der individuellen Winkelstück-Zubehöre für die Probanden ist ein wesentlicher Bestandteil der Studie.

So wurde für die Durchführung der Studie jeder Proband mit zwei individualisierten Winkelstück-Zubehören ausgestattet. Dazu gaben die Probanden einmalig einen Abdruck an der instrumentenherstellerspezifischen Abdruckbasis ab (Abbildung 11). Im Studienfall wurde die Abdruckbasis auf der Vorlage des „KaVo“-Winkelstückes „GENTLEpower“ erstellt und verwendet, weil das eines der Winkelstücke im Schulungsgebrauch der LMU ist.

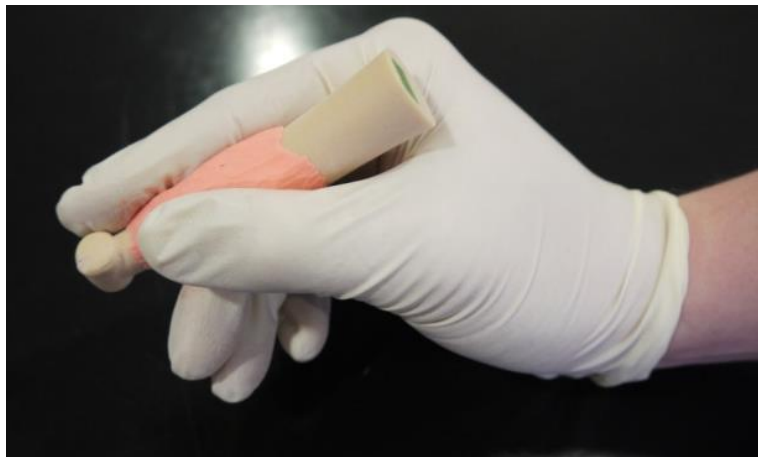


Abbildung 11: Abdrucknahme mit der Abdruckbasis Offset 0,50 mm des KaVo Winkelstückes GENTLEpower

Die Probanden wurden dabei gebeten, ein Datenblatt mit der Möglichkeit zur Äußerung von zusätzlichen Wünschen und Hinweisen auszufüllen (Abbildung 12).

Laborplatz-Nr.:	
Alter:	
Geschlecht:	
Linkshänder:	
Rechtshänder:	
Farbwunsch:	<div> <div>weiß</div> <div>rot</div> <div>grün</div> <div>blau</div> </div> <div> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/> </div>
Initialen	<div>nein <input type="radio"/></div> <div>ja <input type="radio"/></div> <div>Welche?:</div>
WahrnehmungsfILTER	<div>A <input type="radio"/></div> <div>B <input type="radio"/></div>

Abbildung 12: Datenblatt für die Erstellung der individuellen Winkelstück-Zubehöre

Die Hinweise und Wünsche machen zum einen eine nachträgliche Zuordnungsbarkeit, zum anderen eine stärkere Individualisierung möglich. Die Zusatzabfrage zum Wahrnehmungsfilter wird in einem späteren Kapitel näher erläutert. Neben einer kleinen Farbauswahl wird die Möglichkeit, Initialen am Zubehör anbringen zu lassen angeboten.

Das sind alles Faktoren, die einen persönlichen Bezug zum „Alltagshandwerkszeug“ Dentalschleifer fördern. Neben all den Möglichkeiten ist die sehr gute Passung für den Endgebrauch des Zubehöres jedoch unerlässlich. Daher sind das Erzeugen der Abdruckbasis und die Abdrucknahme mit den Probanden von besonderer Bedeutung und entscheidend für den Erfolg der Studie.

4.2.1. Erzeugen der Abdruckbasis & Abdrucknahme von den Probanden

Zur Herstellung der individuellen Winkelstück-Zubehöre für die Probanden wird der Abdruck der üblichen Fingerpositionierung beim Gebrauch des Instrumentes benötigt (Abbildung 13 und Abbildung 14). Für die Herstellung des individuellen Winkelstück-Zubehöres ist ein Verfahren entwickelt worden, das es möglich macht, die individuellen Fingerpositionen während des Instrumentengebrauches dauerhaft abzuformen. Um einen anwenderorientierten Fingerabdruck nehmen zu können, wird eine Abformgrundlage benötigt. In Anlehnung an das zu adaptierende Dentalinstrument, KaVo Winkelstück GENTLEpower, ist eine Abdruckbasis mit einem Aufmaß (Offset) von 0,5 mm hergestellt worden und bildet im Studienfall die Abdruckbasis.

Das Aufmaß von 0,5 mm an der Abdruckbasis dient der anschließenden stabilen und bündigen Passung des individuellen Zubehöres am Winkelstück und wird im nachfolgenden Kapitel genauer erläutert.



Abbildung 13: Instinktives Winkelstück-handling im Umgang mit dem Standard-Winkelstück unter Berücksichtigung der Verlängerung durch die Anschlüsse;



Abbildung 14: Abdrucknahmen mit der Abdruckbasis Offset 0,50 mm des KaVo Winkelstückes GENTLEpower verpackt mit den Datenblatt und zusätzlichen Wünschen der einzelnen Probanden;

Der Abdruck wird mit Hilfe des zwei Komponenten Knetsilikon (Matrix Form 60 A & B, anax dent GmbH, Stuttgart) erstellt. Die gewählte Abformmasse wird 1:1 angemischt und die Abdruckbasis damit ummantelt und dem Instrumentenanwender in die Hand gegeben. Dieser drückt die Masse in der gewohnten Fingerhaltung so ein, dass sich sein exakter individueller Fingerabdruck in der Abformmasse wiederfindet. Da der Zahnarzt sowohl am Unterkiefer als auch am Oberkiefer arbeitet, wird in die gleiche Formmasse eine zweite um 90° gedrehte Fingerposition abgebildet. Die Minimierung des Zubehörvolumens geht Hand in Hand mit dem funktionsfähigen Schnapp-/Clipverhalten. Daher wurde bei den Abdrucknahmen die Menge des Abdruckmaterials soweit reduziert, dass ein eindeutiges Erkennen der Fingerpositionierung möglich ist und wenig Material darüber hinaus quillt.

4.2.2. Digitalisieren und Bearbeiten des Abdruckes

Die gewonnenen Silikonabdrücke der Probanden wurden eingescannt, um den Abdruck digitalisieren und bearbeiten zu können. Dafür wird die Abdruckbasis mit dem Abdruck auf der Scanplattform des 3D-Dentalscanner (Zfx Evolution, Zfx GmbH, Dachau) befestigt (Abbildung 15) und platziert.



Abbildung 15: Abdruckbasis in Knetsilikon auf Scanplattform des Zfx Evolution Scanners befestigt.

Der gewonnene Rohdatensatz weist noch Ungenauigkeiten und Löcher auf, wird aber trotzdem als STL-Format gespeichert, um eine anschließende Nachbearbeitung und Optimierung der Daten durchzuführen.

Dafür wird der Scan-STL mittels CAD-Software (Magics, Materialise GmbH, München und netfabb, Autodesk, San Rafael, USA) nachbearbeitet, um eine geschlossene Oberfläche zu erhalten.

Anschließend wird die Abdruckgeometrie am CAD-Datensatz des Winkelstückes angepasst [65]. Dafür wird in Magics der Datensatz vom KaVo Winkelstück GENTLEpower, in Abbildung 16 pink dargestellt, manuell und möglichst präzise im bearbeiteten STL-Datensatz des Abdruckscans, grau dargestellt, positioniert.

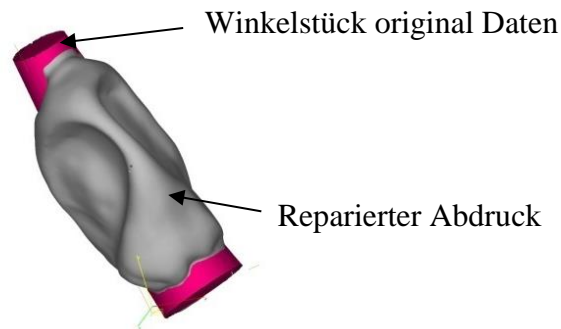


Abbildung 16: Positionierung des Zubehöres auf dem Winkelstück mittels Magics

Das präzise positionierte KaVo Winkelstück GENTLEpower wird daraufhin vom Datensatz des Abdruckscans subtrahiert. Es verbleibt das anwenderorientierte Dentalhandstück-Zubehör, das mit einem Offset von 0,5 mm an der Innenfläche im Magics-System zur bündigen Passung nachbearbeitet wird (Abbildung 17).

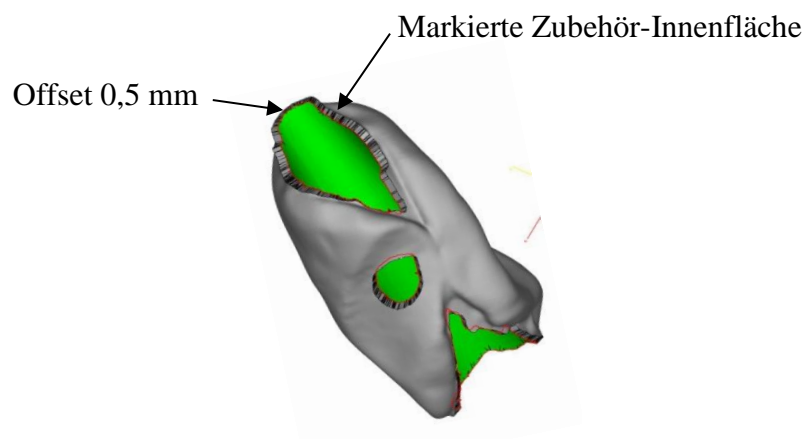


Abbildung 17: Das Zubehör für das Winkelstück mit Offset 0,5 mm an der Zubehör-Innenfläche versehen

Aus den von den Probanden generierten Abdrücken wurden somit die 3D-Daten der individuellen Zubehöre mit der entsprechenden Wandstärke erzeugt.

Die Zubehöre wurden zusätzlich je nach Wunsch mit den entsprechenden Initialen der Studierenden versehen (Abbildung 18).

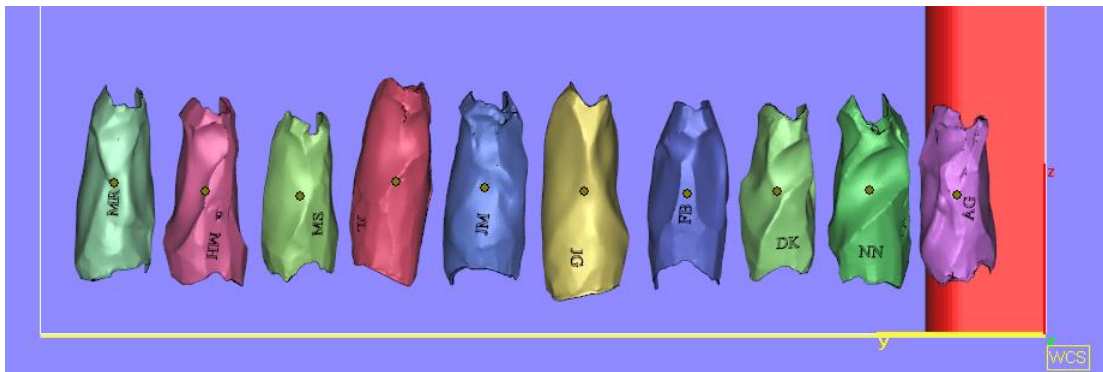


Abbildung 18: Individuelle Zubehöre mit Initialen an der Außenfläche versehen in der FORMIGA P110 platziert

Zur finalen Datenaufbereitung werden die somit erzeugten individuellen Zubehöre im Bau-
raum des Industrie 3D-Druckers (FORMIGA P110, EOS GmbH, Krailling) platziert [16].

4.2.3. Platzieren & Slicen der individuellen Winkelstück-Zubehöre

Die 3D-Datensätze der individuellen Winkelstück-Zubehöre werden anschließend aus dem Feinpolyamid auf PA12 Basis (PA 2200, EOS GmbH, Krailling) mit Hilfe des industriellen 3D-Druckverfahrens, Selektiv Laser Sintering (SLS), als gebrauchstaugliches Zubehör realisiert. Aufgrund der Bauteilgröße, Geometrie und Stückzahl wird der Industrie-3D-Drucker FORMIGA P110 genutzt. Die Datensätze der individuellen Zubehöre werden mit Hilfe der Magics-Software im entsprechenden Maschinenbauraum (Breite: 200 mm, Tiefe: 250 mm, Höhe: 330 mm) platziert. Hierbei kann nur ein kleiner Teil des Bauraumes oder auch das volle Bauvolumen von 16 Liter der FORMIGA P110 ausgenutzt werden (Abbildung 19).

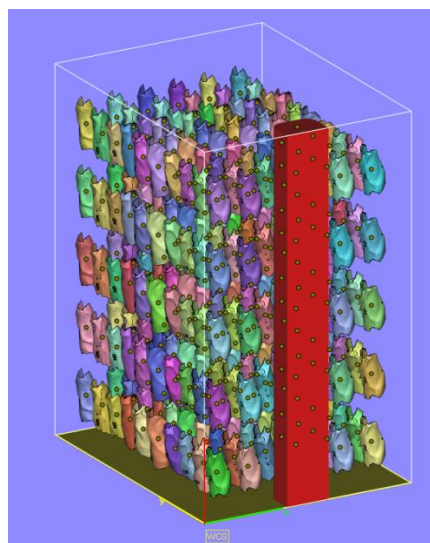


Abbildung 19: Voller FORMIGA P110 Bauraum mit 290 individuellen Zubehören

Die platzierte STL-Datei des jeweiligen Zubehöres wird mit Hilfe der Schichtdefinierungs-Software (RP-Tools 6.1.9 und SLICER Modul, EOS GmbH, Krailling) in eine Vielzahl von Schichten („Slices“) mit der definierten Schichtstärke von 0,1 mm zerlegt. Die Software RP-Tools dient der Aufbereitung von CAD-Daten im STL-Format für den Bauprozess in einer EOS Maschine [52; 24]. Das Ergebnis ist eine Anzahl von Schichten, die in einer Scalable Link Interface Datei (SLI -Datei) zusammengefasst sind und direkt von der FORMIGA P110 verarbeitet werden können.

4.2.4. Bauprozess mit Vor- und Nacharbeit

Die SLI-Datei des individuellen Winkelstück-Zubehöres für das Winkelstück KaVo GENT-LEpower LUX 7LP wurde an der Maschine mit der Prozesssoftware (PSW 3.6.86, EOS GmbH, Krailling) bearbeitet.

Bei der Jobvorbereitung mit der Prozesssoftware (PSW) wurden Skalierungen durchgeführt, das Bauteil geladen, die Bodenschicht und Deckschicht definiert und der Belichtungsparameter dem Bauteil zugewiesen, als eos.jz-Datei gespeichert und auf die Maschine exportiert. Anschließend wurde der Bauauftrag auf die Maschine übertragen und die Maschine gerüstet. Dazu gehören das Auffüllen der Pulverbehälter, das Einsetzen des Wechselrahmens und das Aufheizen der Maschine. Um das Bauen in der Maschine auszuführen, muss der entsprechende Bauauftrag an der Maschine ausgewählt und der Bauprozess („Job“) gestartet werden. Ist der Bauprozess abgeschlossen und die Maschine abgekühlt, wird der Wechselrahmen aus der Maschine entnommen und das Bauteil ausgepackt (Abbildung 20). Das nicht ausgehärtete, gealterte Pulver wurde gesiebt und mit 50% Neupulver gemischt und im Pulverbehälter für den nächsten Bauauftrag bereitgestellt.

Das ausgepackte Bauteil wird mit Glasperlen bei einem Druck von 4 bar gestrahlt und so von überflüssigen Pulverresten befreit.



Abbildung 20: Nachbearbeitung eines Dentalhandstück-Zubehöres:

- a) Wechselrahmen in Auspackstation
- b) Zubehör aus dem Pulverbett auspacken
- c) Zubehör mit Glasperlen strahlen

Die gefertigten individuellen Winkelstück-Zubehöre werden mit den gestellten Anforderungen durch die Design-Verifikation abgeglichen, auf Abweichungen untersucht und gegeben falls optimiert. Während der gesamten Herstellung des individuellen Winkelstück-Zubehöres ist jederzeit stark auf die Qualitätssicherung zu achten [30; 42].

Die Herstellung mittels Laser-Sintern ist sowohl für den schnellen Prototypenbau als auch für die Kleinserienfertigung des individuellen Winkelstück-Zubehöres sehr gut geeignet.

Für das Additive Manufacturing mittels SLS spricht die Freiheit in der Formgebung, das mögliche Fertigen von hochkomplexen Bauteilen, eine große Detailgenauigkeit und hohe Präzision, gute mechanische Eigenschaften, die Verarbeitung des biokompatiblen Kunststoffes PA 2200 (Anhang 1 Biocompatibility Certificate), die schnelle Herstellung und die damit verbundene Zeitersparnis von der ersten Idee bis zur Serienreife.

Somit ein ideales Herstellungsverfahren von Kleinserien und sogar individuellen Einzelanfertigungen wie die individuellen Winkelstück-Zubehöre der Probanden [24].

4.3. Ermittlung der Design-Wahrnehmung der Probanden

Um das Wahrnehmungsmuster des potentiellen Zahnarztes, also der Zahnmedizin Studierenden, zu ermitteln, wurde das Fragesystem, der ViQ, verwendet. Der ViQ ermöglicht es, die Persönlichkeit der Probanden besser zu verstehen, denn die Persönlichkeit drückt sich dadurch aus, wie die Probanden auftreten, handeln und entscheiden. Sie zeigt sich in dem, wie sie mit anderen umgehen und sich den Herausforderungen des Lebens stellen. Um zu verstehen, wie die Probanden auf Menschen und Dinge reagieren und wie das individuelle Zubehör auf sie wirkt, ist es durchaus wichtig, die Studie durchzuführen. Denn individuelle Unterschiede von Persönlichkeitstypen zeigen sich als Neigungen oder Präferenzen. Diese Neigungen bestimmen das Verhalten der Probanden und sind ausschlaggebend dafür, was sie befriedigt oder frustriert.

So wurden die Probanden gebeten sich spontan nach dem reinen „Bauchgefühl“ zu entscheiden, für welche der beiden Abbildungen sie sich eher entscheiden würden, welche ihnen sympathischer erscheint Abbildung A (Abbildung 21) oder Abbildung B (Abbildung 22).

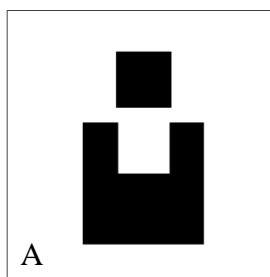


Abbildung 21: Wahrnehmungsfilter A akzeptiert vorrangig Systeme [40]

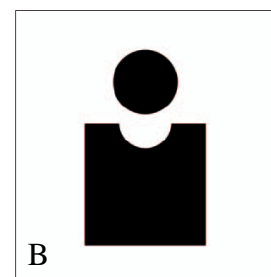


Abbildung 22: Wahrnehmungsfilter B reagiert über Spontanität und Emotionalität [40]

Anschließend wurden die Probanden, beim Ausfüllen des Datenblattes (Abbildung 23) für die Erstellung der individuellen Winkelstück-Zubehöre, gebeten das Kreuz bei ihrem gewählten Wahrnehmungsfilter zu setzen.

Linkshänder:

Rechtshänder:

Farbwunsch:

weiß rot grün blau
☐ ☐ ☐ ☐

Initialen

nein ☐ ja ☐ Welche?:

Wahrnehmungsfilter A ☐ B ☐

Abbildung 23: Datenblatt für die Erstellung der individuellen Winkelstück-Zubehöre

4.4. Gebrauchstauglichkeitsstudie individuelles Winkelstück-Zubehör

Die Gebrauchstauglichkeit ist immer abhängig von dem „bestimmten Benutzer“, der z.B. in Ausbildung, Kenntnisstand und Alter variieren kann, und von dem Nutzungskontext, in dem das Produkt verwendet wird.

Für den Nutzertest des individuellen Winkelstück-Zubehöres kamen 72 Zahnmedizinstudierende zum Einsatz. Da das individuelle Winkelstück-Zubehör auch in der Praxis über eine geringe Komplexität, eine homogene Nutzergruppe und ein marginales Risiko verfügt, ist diese Anzahl an Testnutzer mehr als ausreichend (Abbildung 24).

	5 Nutzer		30 Nutzer
Komplexität des Produktes	gering	→	hoch
Unterschiedliche Nutzergruppen	eine	→	viele
Risiko	marginal	→	hoch

Abbildung 24: Anzahl der Testnutzer [8]
in Abhängigkeit von der Produktkomplexität, der Homogenität der Nutzergruppe und von dem mit dem Gerät verbundenen Risiko

4.4.1. Aufbau der Gebrauchstauglichkeitsstudie

Beim durchgeführten Gebrauchstauglichkeitstest wurden unter Mitwirkung von Repräsentanten der Nutzergruppe Zahnarzt, Zahnmedizinstudierende, in einer möglichst repräsentativen Umgebung mit repräsentativen Aufgaben die Stärken und Schwächen des Produktes systematisch evaluiert [12; 21]. Es wird versucht, den Nutzungskontext in einem Labor möglichst realistisch darzustellen. Während dieses Nutzertests werden die Probanden dazu angehalten, typische Arbeitsaufgaben, welche eine Realanwendung reflektieren, mit dem Gerät durchzuführen. Aus den Beobachtungen, Antworten in einem Fragebogen und Aussagen bei der Aufgabenerfüllung sowie einer Analyse der Präparationsergebnisse können Rückschlüsse auf die Gebrauchstauglichkeit des Produktes aus subjektiver und objektiver Sicht gezogen werden [8].

Zur Analyse der praktischen Auswirkung des individuellen Winkelstück-Zubehöres wurden 72 Zahnmedizinstudierende angewiesen, den rechten ersten unteren Molaren (FDI 46) eines Zahnmodells zur Erstellung einer Vollgusskrone zu präparieren. Die Präparationsarbeit erfolgte im Präparationskurs des ersten Fachsemesters der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik siehe Abbildung 25.



Abbildung 25: Präparationskurs des ersten Fachsemesters der LMU der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der Ludwig-Maximilians-Universität. Probanden bei der Präparation des Zahnmodells FDI46 an einem Phantomkopf.

Während des Herstellungsprozesses wurden die Studierende von erfahrenen Assistenten und Zahnärzten betreut.

Die Probandengruppe, mit einem Durchschnittsalter von 21 Jahren, bestand aus 72 Studierenden, von denen ein Drittel Männer und zwei Drittel Frauen waren. Wie in Tabelle 4 veranschaulicht, wurden zwei Gruppen gebildet.

Gruppe	Anzahl	Eigenschaft	Aufgaben
Gruppe A	N=36	Dentalschleifer mit individuellem Zubehör	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bewertung der subjektiven Wahrnehmung während des Instrumentengebrauches 2. Präzise Präparationsleistung am Zahn bei der Erstellung einer Vollgusskrone
Gruppe B	N=36	Dentalschleifer ohne individuellem Zubehör	

Tabelle 4: Aufteilung der Probandengruppen mit ihren Eigenschaften und Aufgaben

Die Studierenden der Gruppe A ($n = 36$) verwendeten einen Dentalschleifer mit individuellem Zubehör (Abbildung 26 a) und die Studierende der Gruppe B ($n = 36$) verwendeten Dentalschleifer ohne Zubehör (Abbildung 26 b).

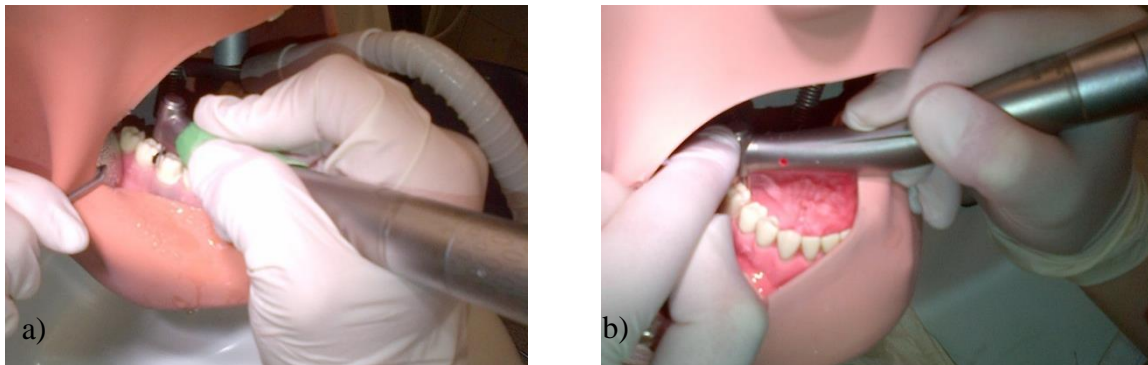


Abbildung 26: Direkter Gebrauchsvergleich des Handstückes ohne/mit Zubehör

- a) Winkelstück mit individuellem Zubehör (links)
b) Winkelstück ohne Zubehör (rechts)

Um die subjektive Bewertung der Winkelstücke mit und ohne Zubehör durchzuführen wurden die Studierende nach ihrer Meinung und Wahrnehmung während der Präparationsarbeit befragt.

4.4.2. Subjektive Bewertung des individuellen Winkelstück-Zubehöres

Die Probanden bewerteten gemeinsam während des Präparationskurses die Gebrauchstauglichkeit des Winkelstückes mit und ohne Zubehör. Anschließend wurden sie gebeten den eigens hierfür entwickelten Fragebogen (Anhang 2, Probandenfragebogen Wahrnehmung und Wirkung des individuellen Zubehöres) auszufüllen. Dabei ist zu beachten, dass die Probanden die Fragen auf einer Scala von -3 bis +3 („Stimmt gar nicht“ bis „stimmt völlig“) beantworteten. Die Fragen sind so formuliert, dass die positive Zahl auch eine positive Bewertung bedeutete.

Der Probandenfragebogen [50] ist untergliedert in sieben Fragenbereiche:

1. Probandeninformation:

Der Fragenbereich 1 befasste sich ausschließlich mit der Probandeninformation im Allgemeinen.

2. Abdrucknahme:

Die Probanden sollten die Abdrucknahme zur Herstellung und Personalisierung des Zubehörs im Hinblick auf Durchführung, Verständlichkeit und Empfinden beurteilen.

Vor und während der Abdrucknahme wurde den Probanden das Vorgehen genau erklärt, sie konnten jederzeit Fragen stellen und wurden bis hin zum fertig verpackten Abdruck individuell betreut (Abbildung 27).



Abbildung 27: Durchführung der Abdrucknahme mit den Probanden der LMU:

- a) Erklärung des Vorgehens bei der Abdrucknahme
- b) Beratung während der Abdrucknahme
- c) Abdrücke verpackt mit Informationsdatenblatt

3. Zubehör-Design

Im Fragenbereich 3 wird die individuelle Design-Wahrnehmung der individualisierten Zubehöre bewertet. Bei der Akzeptanz und dem Gebrauch von Gegenständen spielt die individuelle Wahrnehmung eine entscheidende Rolle. Die Faktoren für eine positive Wahrnehmung können dabei individuell höchst verschieden sein. Ein personalisiertes Zubehör kann daher dabei helfen, ein handelsübliches Winkelstück zu individualisieren. Vor allem Form, Struktur und Farbe des Zubehöres können durch den 3D-Druck auf einfache Weise anwenderspezifisch angepasst werden.

Der vorgeschlagene Vergleich des Winkelstückes mit und ohne Zubehöres mit den Schreibinstrumenten „Füller“, „Bleistift“ und „Edding“ lässt auf die Wahrnehmung der Filigranität und Handhabung des Instrumentes schließen. Wie in Tabelle 5 beschrieben, stehen der Füller für Hochwertigkeit, Filigranität und Präzision, der Bleistift für Einfachheit, Filigranität und Präzision und der Edding für Hochwertigkeit, Robustheit und weniger für Präzision, eher grob.




Schreibinstrument	Interpretation
	Füller = hochwertig, filigran und präzise
	Bleistift = einfach, filigran und präzise
	Edding = hochwertig, robust und weniger präzise, eher grob

Tabelle 5: Interpretation des Schreibinstrumenten-Vergleiches

Unter diesem Aspekt wurden die Probanden gebeten, das Instrument mit und ohne Zubehör einzuschätzen und mit einem Schreibinstrument zu vergleichen.

4. Umgang

Im Fragenbereich 4 geht es um die Bewertung der Zufriedenheit im Umgang mit dem Winkelstück mit und ohne individuelles Zubehör. Dabei wurde der Spaß, die Zufriedenheit, Schnelligkeit und Präzision bewertet.

5. Ergonomie des Winkelstückes

Im Fragenbereich 5 geht es um die Ergonomie bei der Arbeit mit dem Winkelstück mit und ohne Zubehör.

5.1. Ergonomie des Winkelstückes mit Zubehör

5.2. Ergonomie des Winkelstückes ohne Zubehör

6. Technisches Handling des Winkelstückes

Im Fragenbereich 6 geht es um die Bewertung des technischen Winkelstück-Handlings jeweils mit und ohne Zubehör. Unter technisches Handling werden die einzelnen Aktionen mit dem Instrument, bzw. Winkelstück mit und ohne Zubehör bewertet. Dazu gehören Aktionen wie sicheres und souveränes Greifen und Fassen des Instrumentes, die richtige Handhabung bzw. das richtige Instrumenten- Handling, einfache und schnelle Positionierung und Anwendung am Patientenzahn und das sichere Festhalten. Speziell für das technische Handling des Winkelstückes mit individuellem Zubehör waren die Fragen der Montage und Demontage zu beantworten und zu bewerten. Die Aktion des sicheren und souveränen Greifens und Fassens des Instrumentes wurde im Aktionspunkt Greifen und Fassen mit und ohne Zubehör bewertet. Das Handling des Instrumentes, also das in die richtige Behandlungsposition bringen und das Führen wurde für das Winkelstück mit und ohne Zubehör bewertet.

Dabei ist der Ausbildungsstand der Probanden zu berücksichtigen. Die Studierende des ersten Fachsemesters haben so gut wie keine Erfahrung im Instrumentengebrauch und somit auch noch nicht im richtigen Handling.

Daher wurden zusätzlich zu den 72 Zahnmedizinistudenten auch vier lehrende Zahnmediziner mit individuellen Zubehören ausgestattet und ebenfalls zum technischen Handling befragt. Das Handling wurde von den vier lehrenden Zahnmediziner während den durchzuführenden Aktionen (einmal mit und einmal ohne Zubehör) bewertet. Die Gebrauchstauglichkeit des Winkelstückes mit dem individuellen Zubehör wurde während aller Aktionsaufgaben im Vergleich zum Standard-Winkelstückes bewertet.

6.1. Technisches Handling des Winkelstückes mit Zubehör

6.2. Technisches Handling des Winkelstückes ohne Zubehör

7. Allgemeiner Eindruck

Im Fragenbereich 7 geht es um die Beurteilung des Winkelstückes im Hinblick auf den allgemeinen Eindruck der Probanden während des Instrumentengebrauches. Da in der Studie das Winkelstück ohne Zubehör mit dem Winkelstück mit individuellem Zubehör verglichen wurde, wurde abschließend ein Ranking durchgeführt (Abbildung 28). Das Rankingverfahren hat den Vorteil, dass man auf einem Blick die direkte Einschätzung des Winkelstückes mit und ohne Zubehör gegenüberstellen und somit visualisieren kann.

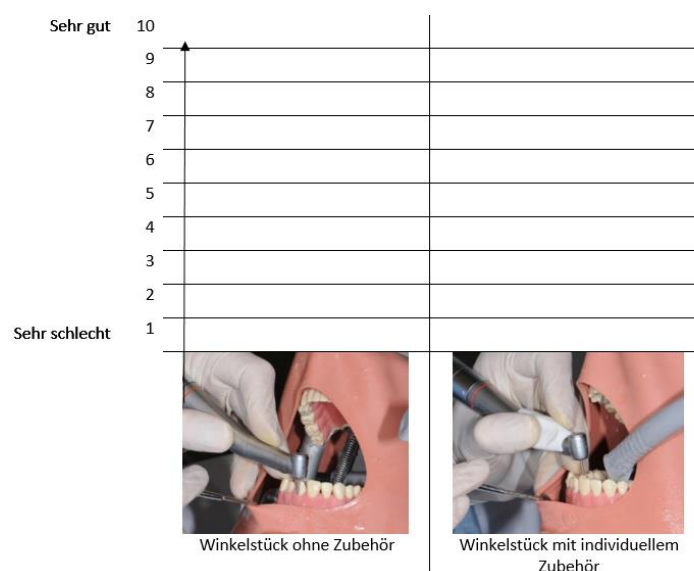


Abbildung 28: Ranking zur Ermittlung der Nutzerzufriedenheit

Die Aussagen während der subjektiven Bewertung und abschließende Interviews wurden ausgewertet, um Rückschlüsse auf die Nutzerzufriedenheit zu ziehen. Allgemein sind sowohl Daten zu einzelnen Handlungen und Arbeitsschritten als auch Daten über die allgemeine Einstellung gegenüber des individuellen Winkelstück-Zubehöres gesammelt worden. Die objektive Bewertung erfolgte mit Hilfe der LMU Präparationsauswerte-Software.

4.4.3. Objektive Bewertung des individuellen Winkelstück-Zubehöres

Zur Durchführung der objektiven Bewertung des individuellen Winkelstück-Zubehöres wurden die Zahnmedizin Studierenden der LMU bei der Hohlkehlpräparation zur Vorbereitung einer Vollgusskrone begleitet. Um die Gebrauchstauglichkeit des Winkelstück-Zubehöres am Präparationsergebnis objektiv zu überprüfen, präparierten die Studierende der Gruppe A vierzig der künstlichen Molaren FDI 46 und die Studierende der Gruppe B präparierten neununddreißig der künstlichen Molaren FDI 46 (Gruppe A = 40 und Gruppe B = 39). Die unterschiedliche Anzahl an präparierten Zahnmodellen hängt mit dem abweichenden Tempo der Probanden zusammen. So haben einige Probanden mehr wie ein Zahnmodel in der vorgegebenen Zeit präparieren können.

Die Präparationsarbeiten bzw. die Stümpfe wurden anschließend mit einem 3D-Dentalscanner (Zfx Evolution, Zfx GmbH, Dachau) digitalisiert, in eine STL-Datei umgewandelt und auf einem Hochleistungsrechner in ein Arbeitsverzeichnis abgespeichert. Nach dem Start des Analyseprogramms wurden die Pfadangaben zu den analysierenden Stumpfdaten in eine Tabelle eingetragen, die Untersuchungsbereiche der Analyse definiert und die Analyse der Geometrien gestartet.

Die erhalten Analysedaten wurden anschließend in das SPSS Statistikprogramm importiert und mit statistischen Methoden untersucht. Es wurde der nicht parametrische Test (WILCOXON) verwendet, da diese Untersuchungsmethode eine hohe Fehlertoleranz aufweist.

Um einen objektiven Vergleich der Präparationsleistung mit und ohne individuellem Zubehör durchführen zu können, wurden folgende Werte mit Hilfe des Vermessungsprogramms der LMU analysiert und statistisch ausgewertet:

- Konvergenzwinkel
- Stufenbreite
- Präparationswinkel
- Präparationslänge
- Unterschnitte

Die nachfolgende Abbildung 29 zeigt die einzelnen Analyseparameter am Schnitt eines Molaren.

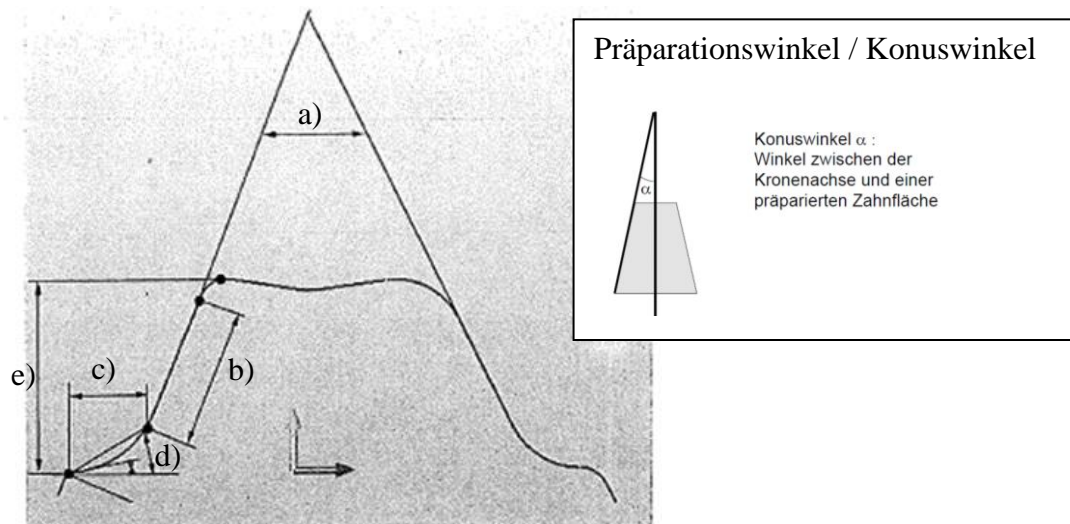


Abbildung 29: Darstellung der einzelnen Analyseparameter im Schnitt nach Dr. Erdelt (2014)

a) Konvergenzwinkel; b) Präparationslänge; c) Stufenbreite; d) Unterschnitte; e) Präparationshöhe

Mit Hilfe der Daten soll herausgefunden werden, wie präzise die Probanden präparieren und ob es einen messbaren Unterschied zwischen der Präparationsleistung mit und der ohne Zubehör gibt.

5. Ergebnisse

5.1. Auswertung der Design-Wahrnehmung der Probanden

Um das Wahrnehmungsmuster der Probanden zu ermitteln, haben sie sich für einen WahrnehmungsfILTER bzw. eine bevorzugte Abbildung entscheiden müssen. Die Abbildung 30 macht deutlich, dass fast 50% der 72 Zahnmedizinstudierende sich für den WahrnehmungsfILTER B entschieden haben und 26 % sich für den WahrnehmungsfILTER A.

WahrnehmungsfILTER der 72 Probanden

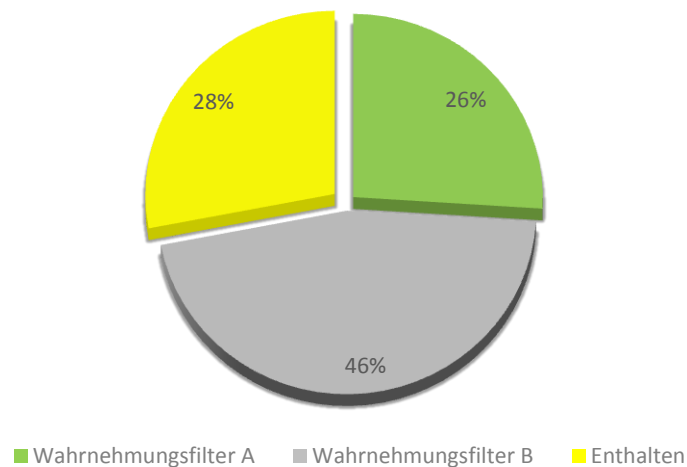


Abbildung 30: WahrnehmungsfILTER der 72 Zahnmedizinstudierende, Probanden

Nur 26% der Probanden geben also der Abbildung 21 den Vorzug gegenüber Abbildung 22, das heißt, dass 19 Probanden vorrangig Systeme akzeptieren und nach folgerichtigen Lösungen suchen, die sich logisch erklären lassen. Dagegen empfinden 46%, also 33 Probanden, die Abbildung 22 als angenehmer. Das spricht wiederum für Emotionalität und Spontanität [61]. Was das konkret bedeutet wird im Kapitel 6, Diskussion, erläutert.

5.2. Auswertung der subjektiven Dimension der Untersuchung

Die Gebrauchstauglichkeit wurde von den Probanden während den durchzuführenden Aktionen bewertet. Der Gebrauch des Winkelstückes ohne Zubehör wurde von keinem Probanden als unangenehm empfunden. Diese Bewertung kann als „guter“ Basiswert festgelegt werden. Die Ergebnisse jedes Fragenbereiches werden in den nachfolgenden Unterkapiteln ausgewertet. Der Fragenbereich 1 befasste sich ausschließlich mit der Probandeninformation im Allgemeinen und ist somit für die subjektive Bewertung des individuellen Winkelstück-Zubehöres irrelevant. Es wird daher sofort mit dem Fragenbereich 2 begonnen.

5.2.1. Fragenbereich 2: Die Abdrucknahme

Im Folgenden geht es um die Abdrucknahme für das Zubehör. Es wurde die Verständlichkeit des Vorhabens (2.1), Verständlichkeit des Vorgehens bei der Abdrucknahme (2.2), die Kompetenz der Beratung während der Abdrucknahme (2.3), die positive Empfindung bei der Abdrucknahme (2.4) und das Zutrauen einer selbständigen Abdrucknahme (2.5) abgefragt und bewertet (Abbildung 31).

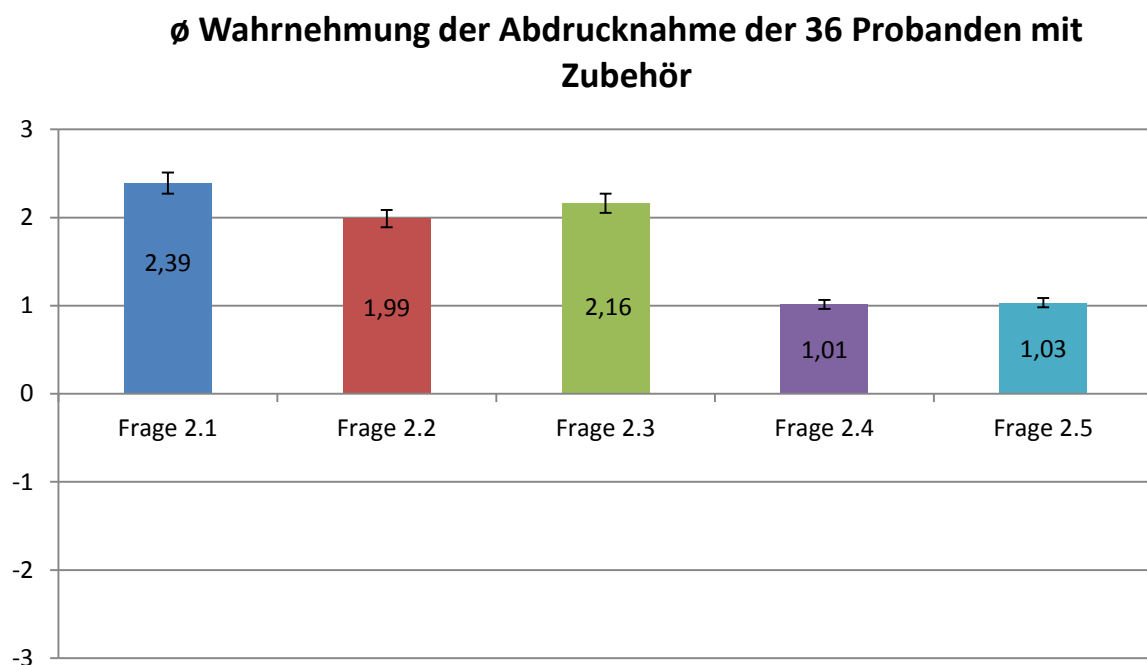


Abbildung 31: Die Wahrnehmung der Abdrucknahme der 36 Probanden mit Zubehör

Die Wahrnehmung der Abdrucknahme war für alle Probanden positiv und das Vorgehen gut verständlich.

Auf die Frage „Als Sie das erste Mal von dem Produkt „Individuelles Zubehör für den Zahnarzt“ gehört haben, erschien es Ihnen als sinnvoll? [50]“ war das Ergebnis eindeutig: Mehr als zwei Drittel der 72 Befragten (67%) fanden das Produkt „Individuelles Zubehör für den Zahnarzt“ als sehr sinnvoll und zukunftsweisend für die Dentalinstrumentenindustrie. Nur 7% der Probanden halten das individuelle Zubehör für nicht sinnvoll (Abbildung 32).

Ist ein individuelles Zubehör für den Zahnarzt sinnvoll?

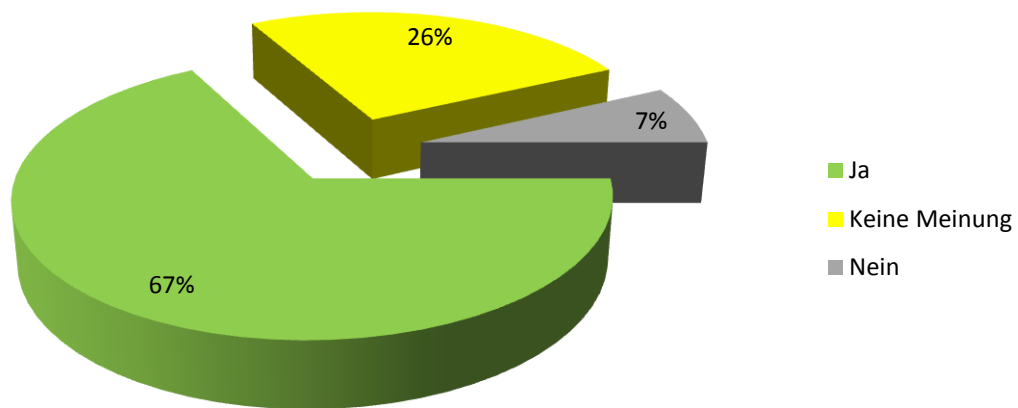


Abbildung 32: 67% der 72 Probanden finden ein individuelles Zubehör sinnvoll

Das zwei Drittel der Befragten ein individuelles Zubehör für sehr sinnvoll erachtet zeigt das Marktpotential für individualisierte Dentalinstrumente und die positive und interessierte Grundeinstellung zur durchgeführten Gebrauchstauglichkeitsstudie.

5.2.2. Fragenbereich 3: Das Zubehör-Design

Im Folgenden wird die individuelle Design-Wahrnehmung der individualisierten Zubehöre ausgewertet.

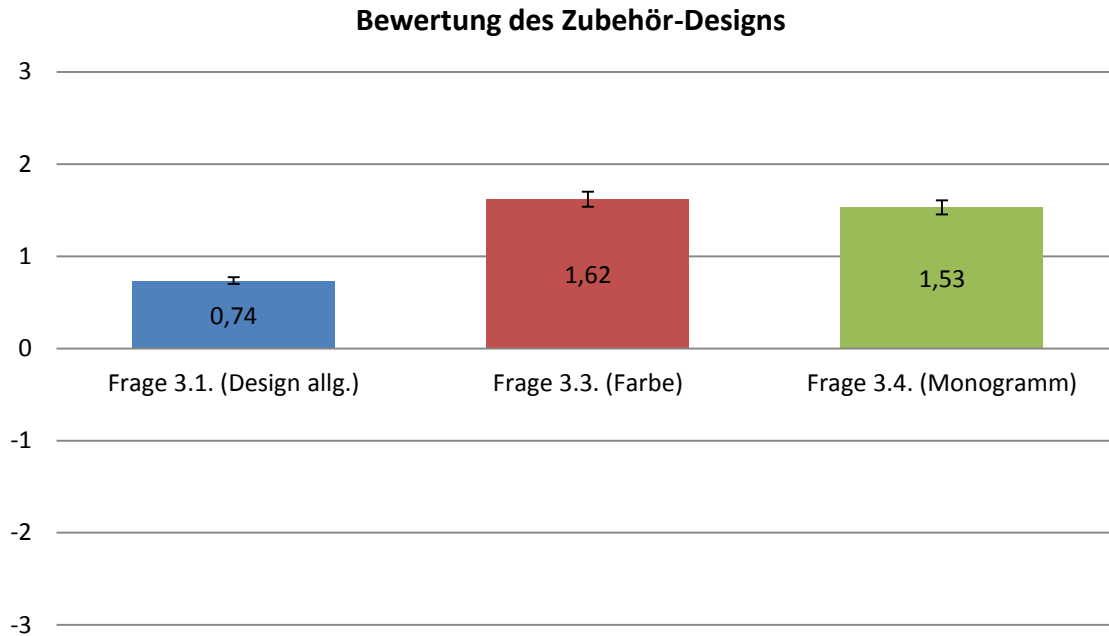


Abbildung 33: Design-Wahrnehmung der individualisierten Zubehöre aller 72 Probanden

Der allgemeine Eindruck des Zubehördesigns ist mit 0,74, auf der Scala von -3 bis +3, positiv und befriedigend. Die Individualisierung des Zubehöres durch Farbe und Monogramm wird für gut befunden und als Mehrwert gesehen (Abbildung 33).

Die Oberfläche/Struktur und die Ergonomie des Zubehöres werden mit 3,42 und 2,94, auf der Scala von 0 (sehr unangenehm) bis 6 (sehr angenehm), als angenehm empfunden.

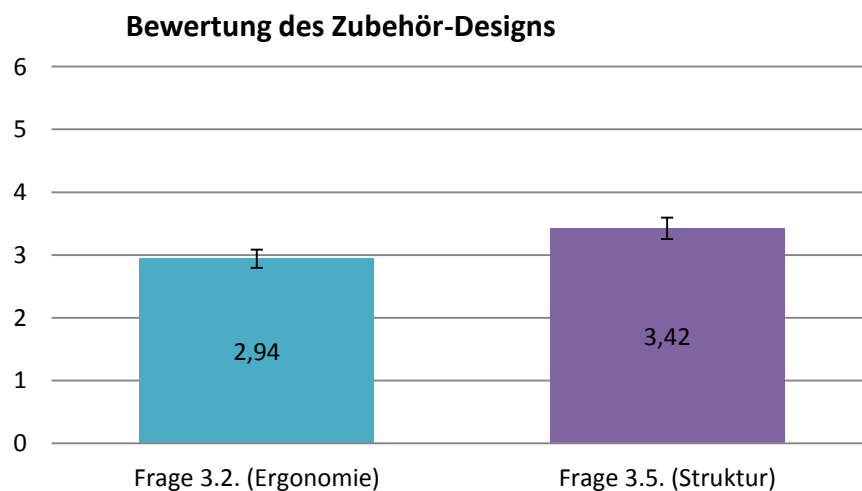


Abbildung 34: Ergonomie und Strukturwahrnehmung der individuellen Zubehöre n=36

Die Auswertung des Schreibinstrumenten-Vergleiches des Dentalschleifers mit individuellen Zubehör in Abbildung 35 zeigt deutlich, dass mehr als die Hälfte der Probanden die Handhabung und Präzision als filigran und präzise bewerten, da sie das Bild des Füllfederhalters assoziieren.

Schreibinstrumenten-Vergleich eines Dentalschleifers mit Zubehör

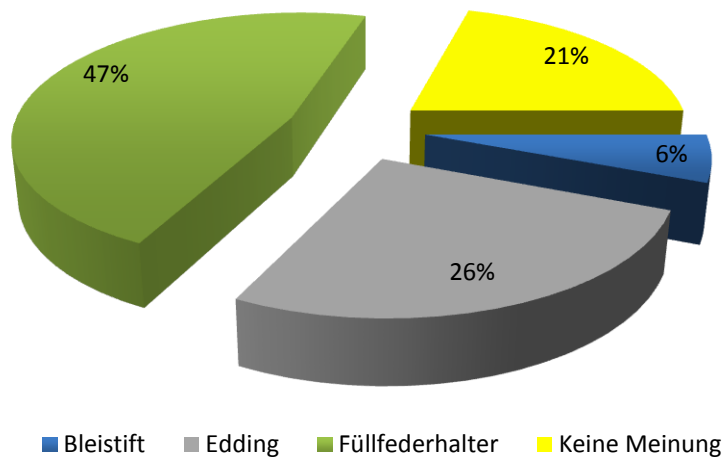


Abbildung 35: Schreibinstrumenten-Vergleich eines Dentalschleifers mit Zubehör n:36

Die Auswertung des Schreibinstrumenten-Vergleiches des Dentalschleifers ohne Zubehör in Abbildung 36 zeigt, dass 41% der Probanden die Handhabung und Präzision als filigran und präzise bewerten. 38% assoziieren das Bild des Eddings mit dem Standard-Winkelstück und bewerten die Handhabung somit als hochwertig aber eher grob.

Schreibinstrumenten-Vergleich eines Dentalschleifers ohne Zubehör

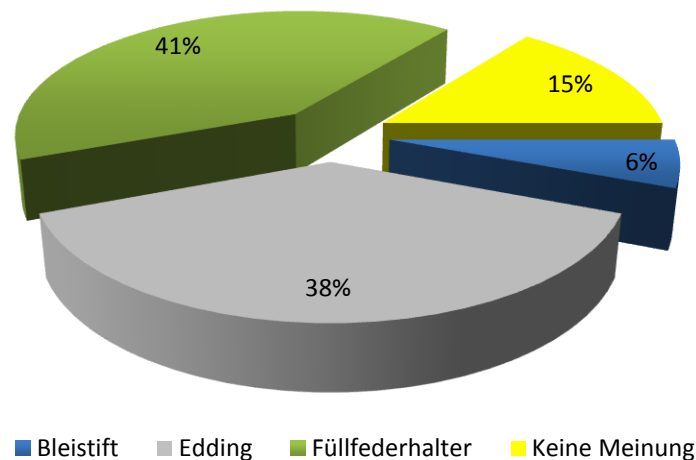


Abbildung 36: Schreibinstrumenten-Vergleich eines Dentalschleifers ohne Zubehör n:72

5.2.3. Fragenbereich 4: Der Instrumentenumgang

Im Folgenden geht es um die Bewertung der Zufriedenheit im Umgang mit dem Winkelstück mit und ohne individuelles Zubehör. Vorweg ist zu sagen, dass alle Probanden Spaß bei der Arbeit hatten, egal ob mit oder ohne Zubehör (Abbildung 37). Die Probanden schätzten die Präparationsarbeit mit Zubehör nicht schneller und auch nicht präziser ein, es ist vielmehr aus der subjektiven Sicht für sie vergleichbar präzise und schnell, allerdings wird die Zufriedenheit während des Arbeitens als höher eingestuft.

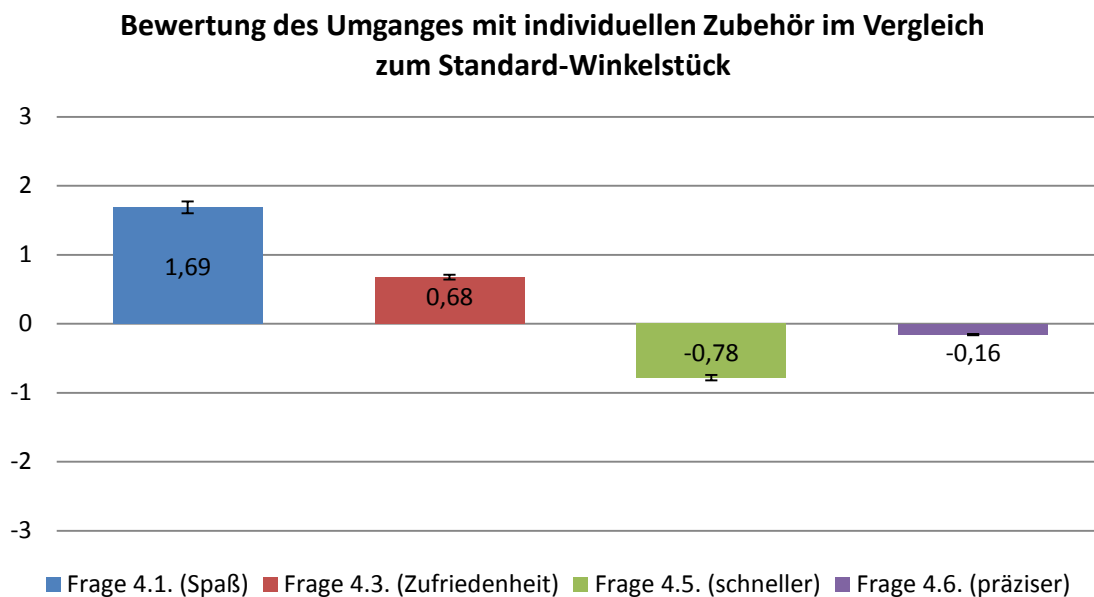


Abbildung 37: Bewertung des Umganges im Vergleich mit/ohne Zubehör n=36

Es bestand für die Probanden die Möglichkeit, das Zubehör während der Präparationsarbeiten abzunehmen. 24% der Probanden haben nie mit ihrem individuellen Zubehör gearbeitet, weil sie die Arbeit mit dem Standart-Winkelstück bevorzugten. 46% der Probanden haben von dieser Möglichkeit (Zubehörabnahme) nie bis selten Gebrauch gemacht (Abbildung 38), weil sie die Arbeit mit dem Zubehör als angenehmer empfanden.

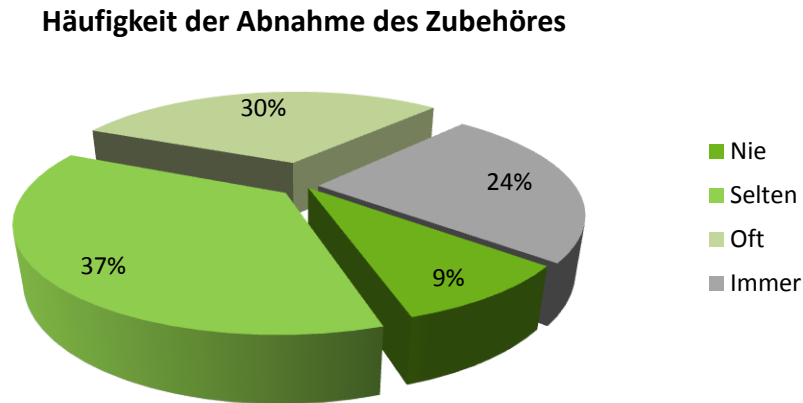


Abbildung 38: Häufigkeit der Abnahme des Zubehöres n=36

Für 46% der Probanden zeigt sich der Mehrwert des Zubehöres in Spaß und Zufriedenheit im regelmäßigen Gebrauch.

5.2.4. Fragenbereich 5: Die Ergonomie des Winkelstückes

Im Folgenden geht es um die Ergonomie bei der Arbeit mit dem Winkelstück mit und ohne Zubehör. Auf die Frage „Wenn Sie noch einmal allgemein an die Ergonomie denken, würden Sie sagen, die Arbeit mit dem personalisierten Winkelstück bietet hier Vorteile?“ haben 50% der Probanden mit „Ja“ geantwortet (Abbildung 39).

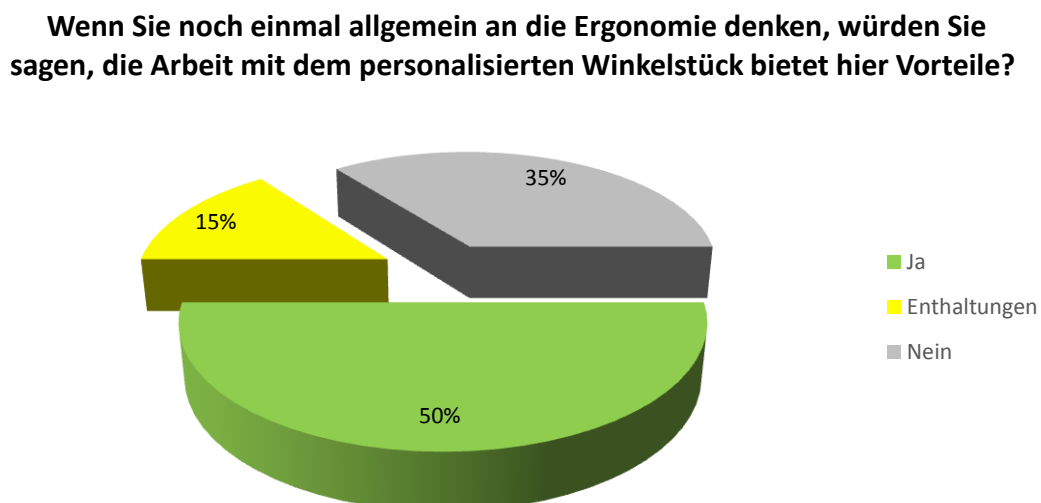


Abbildung 39: Ergonomische Vorteile im Arbeiten mit dem Zubehör n:72

50% der Probanden sehen einen eindeutigen ergonomischen Mehrwert im individualisierten Winkelstück-Zubehör.

Sie sehen das Winkelstück durch das individuelle Zubehör so für die Aufgaben optimiert, dass das Arbeitsergebnis optimal werden kann und die Probanden selbst dabei möglichst wenig ermüden oder gar geschädigt werden, auch wenn sie die Arbeit über Jahre hinweg ausüben. Dazu passt, dass 17% der Probanden Schmerzen bei der Arbeit mit dem Standard-Winkelstück empfanden, wogegen nur 7% der Probanden Schmerzen bei der Arbeit mit dem Winkelstück-Zubehör angaben (Abbildung 40).

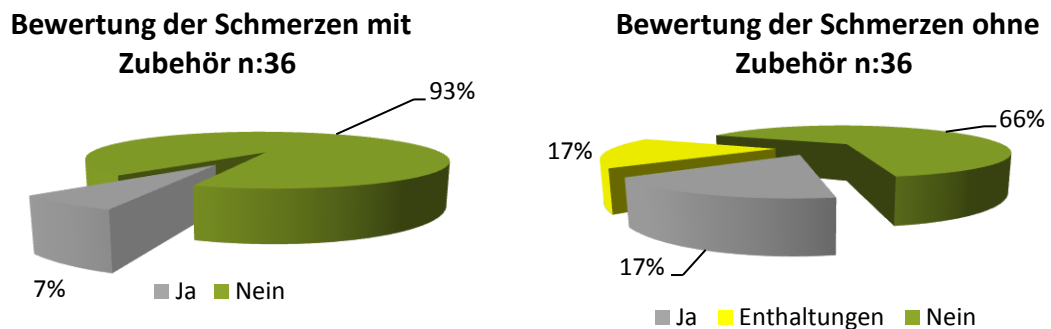


Abbildung 40: Bewertung der Schmerzen mit dem Zubehör vs. ohne Zubehör

5.2.5. Fragenbereich 6: Das technische Handling

Im Folgenden geht es um die Bewertung des technischen Winkelstück-Handlings jeweils mit und ohne Zubehör.

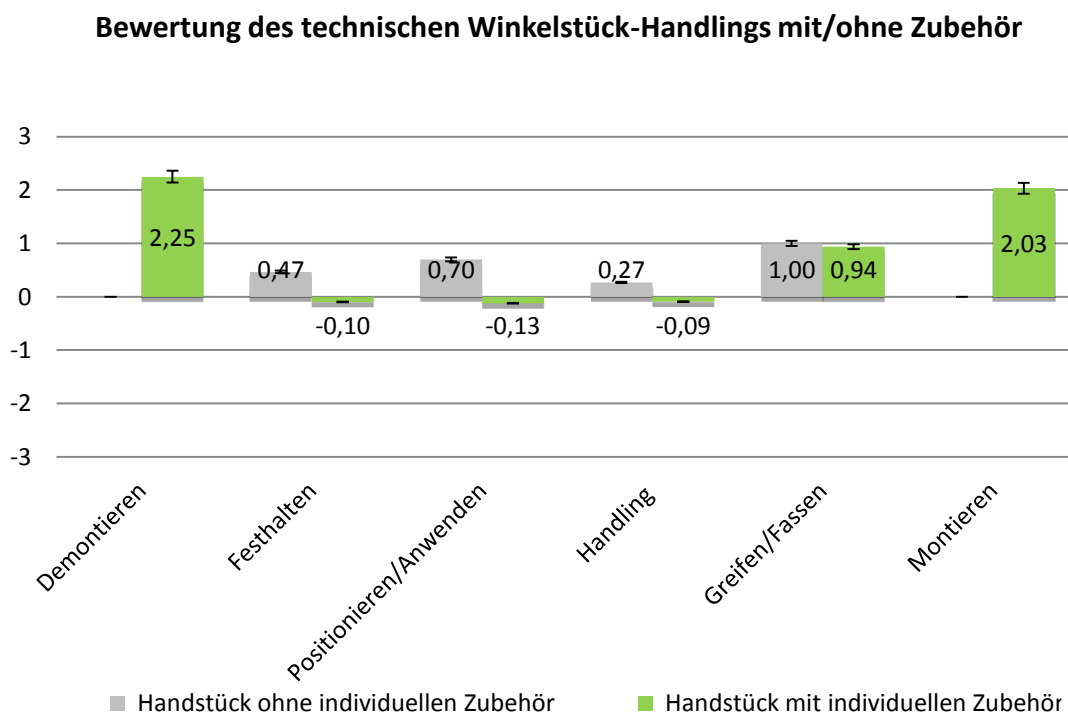


Abbildung 41: Bewertung des Winkelstück-Handlings mit/ohne Zubehör n:72

Die Aktionen der Montage und Demontage des Zubehöres wurden positiv bewertet und stellten keinerlei Herausforderung für den Probanden und das Winkelstück selbst dar. Die Montage und Demontage des Zubehöres sind allerdings losgelöst von den vergleichbaren Aktionen zu betrachten. Nichts desto trotz ist eine einfache und sichere Montage des Zubehöres sehr wichtig und ausschlaggebend für den erfolgreichen Zubehöргеbrauch.

Das Handling des Instrumentes wurde für das Winkelstück mit und ohne Zubehör mit genügend bewertet, was auf den Ausbildungsstand der Probanden zurückzuführen ist.

Die Wahrnehmung der erfahrenen Zahnmediziner weicht hier deutlich von der Wahrnehmung der unerfahrenen Zahnmedizin Studierenden ab. Der Gebrauch des Standard-Winkelstückes wurde von keinem Zahnmediziner als unangenehm empfunden. Die Gebrauchstauglichkeit des Winkelstückes mit dem individuellen Zubehör wurde während aller Aktionsaufgaben allerdings als spürbar angenehmer und besser als der Gebrauch des Standard-Winkelstückes bewertet. Im direkten Vergleich (Abbildung 42) hat das Winkelstück mit dem individualisierten Zubehör bei allen Zahnmedizinern gleich gut oder besser abgeschnitten als das Standard-Winkelstück.

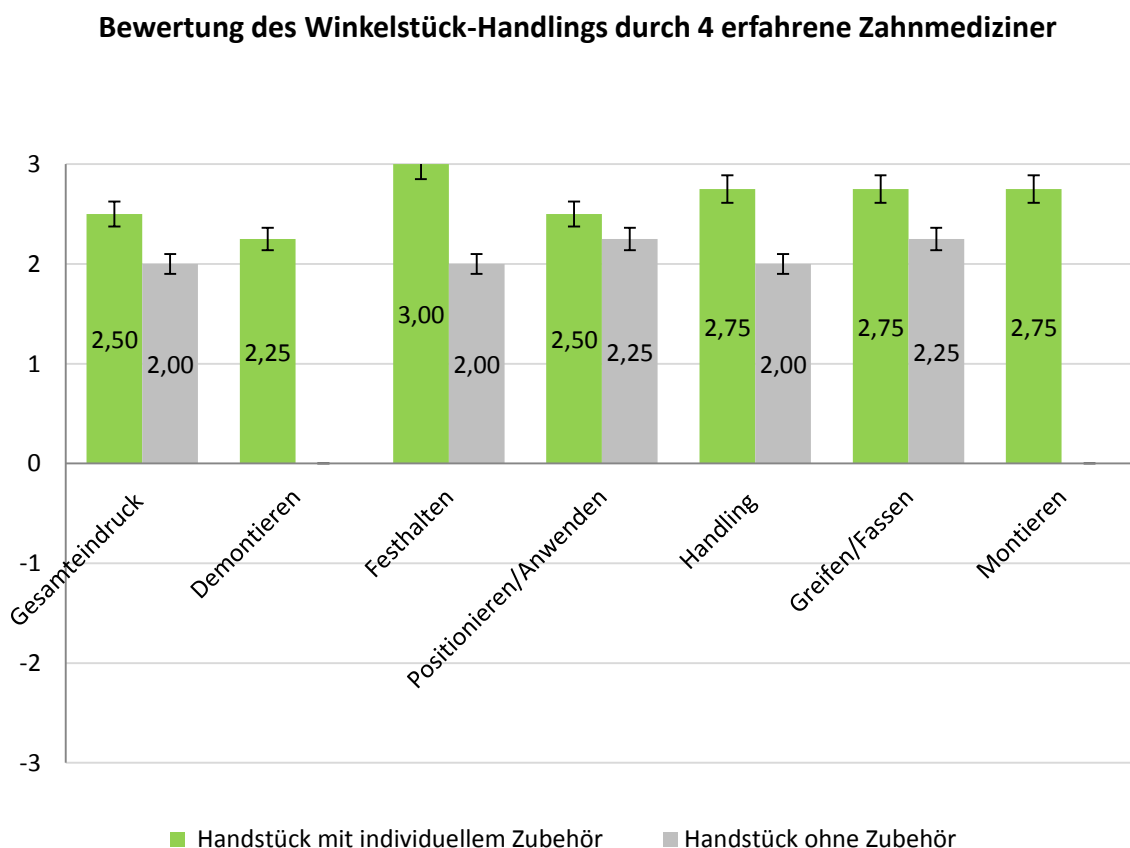


Abbildung 42: Bewertung des Winkelstück-Handlings mit/ohne Zubehör n:4

Das Handling des Winkelstückes mit Zubehör wurde von den vier lehrenden Zahnmedizinern während den durchzuführenden Aktionen sehr positiv bewertet.

Im anschließenden Interview begründeten die Zahnmediziner ihre Entscheidungen für die sehr positive Bewertung des Winkelstückes mit Zubehör wie folgt:

- Leichtes Montieren und Demontieren
- Hohe Passgenauigkeit des Zubehöres am Dentalhandstück
- Blindes Greifen/Fassen und in der Hand positionieren
- Bequemer und ergonomischer Griff
- Angenehme Instrumentenhandhabung
- Definiertes und sicheres Instrumentenführen

Von den 72 Zahnmedizin Studierenden waren 56% der Meinung, dass die Arbeit mit dem personalisierten Winkelstück beim allgemeinen Instrumentenhandling Vorteile bietet (Abbildung 43).

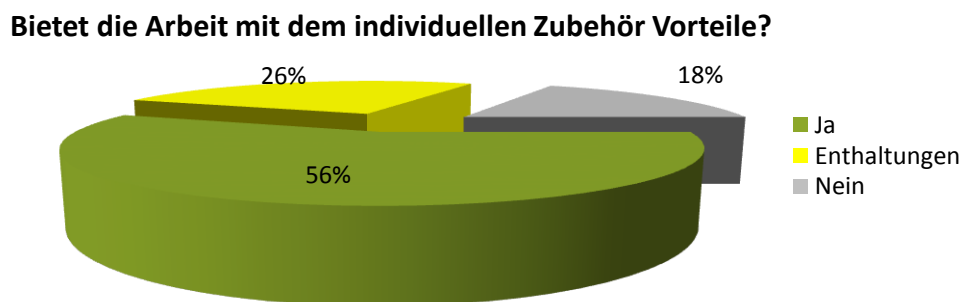


Abbildung 43: 56% der Probanden glauben die Arbeit mit Zubehör bietet Vorteile n:72

5.2.6. Fragenbereich 7: Allgemeiner Eindruck

Im direkten Vergleich hat das Winkelstück mit dem individualisierten Zubehör nach Gebrauch bei allen Probanden gleich gut oder nur leicht schlechter als das ohne Zubehör abgeschnitten.

Der allgemeine Eindruck des Winkelstückes mit individualisiertem Zubehör im Vergleich zum Standard-Winkelstück verdeutlicht die positive Bewertung beider Möglichkeiten (Abbildung 44).

Bewertung des allgemeinen Eindrucks der Winkelstücke durch die 72 Probanden

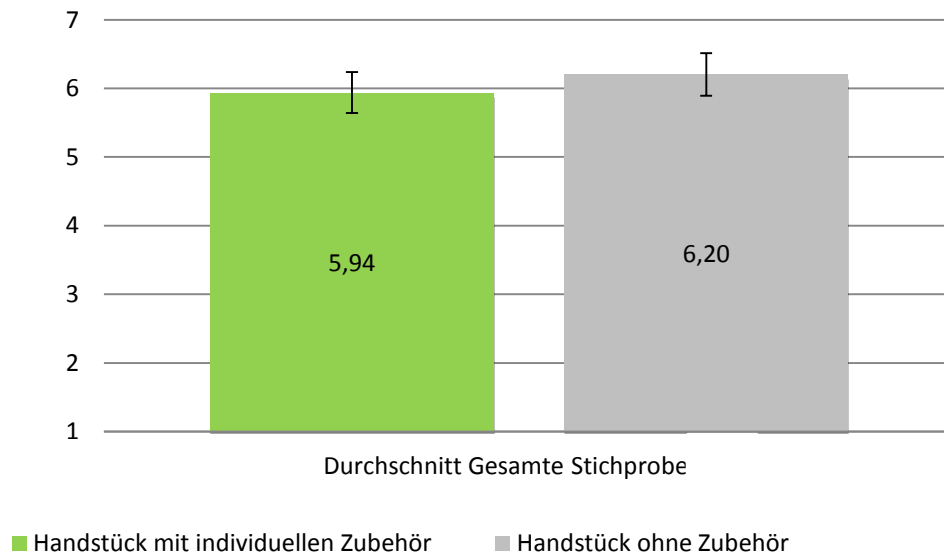


Abbildung 44: Allgemeiner Eindruck der Winkelstücke mit/ohne Zubehör

Bei der Frage nach der Kaufbereitschaft der Zahnmedizinisierenden für ein individuelles Zubehör für Dentalinstrumente würden sich 47% für den Kauf eines individuellen Zubehöres entscheiden (Abbildung 45).

Kaufbereitschaft für ein individuelles Zubehör

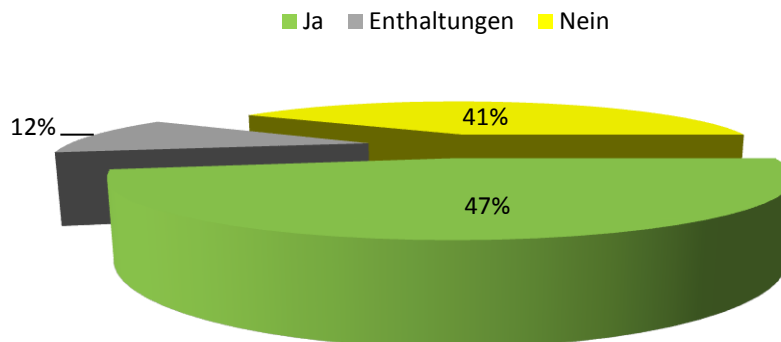


Abbildung 45: Kaufbereitschaft für ein individuelles Winkelstück-Zubehör n:72

Bezüglich des damit verbundenen Kaufpreises äußerten die Studierenden Preise zwischen 5 € und 150 €, im Durchschnitt schlugen die 72 Probanden einen Preis von 71,37 € vor.

Nach dem erfolgreichen Gebrauchstauglichkeitstest wurden die Präparationsergebnisse mit Hilfe des Vermessungsprogramms der LMU analysiert, statistisch ausgewertet und dokumentiert. Es folgt die Auswertung der objektiven Dimension der Untersuchungen.

5.3. Auswertung der objektiven Dimension der Untersuchung

Es wurden die Daten der Analyseparameter von neunundsiebzig Zahnmodellen gesammelt. Die Probanden haben neunundsiebzig Präparationen abgegeben, davon wurden neununddreißig mit und vierzig ohne Zubehör durchgeführt.

Bei allen Ergebnissen der statistischen Test gilt das asymptotische Signifikanz angezeigt werden, die Nullhypothese beibehalten wird und das Signifikanzniveau bei 0,05 liegt.

Die nachfolgenden Tabellen und Diagramme zeigen die berechneten Mittelwerte (MW) mit der Standardabweichung (SD), die Medianwerte, sowie das 95%-Konfidenzintervall (95% KI) mit Ober- und Untergrenze bzw. Minimum und Maximum der einzelnen Analyseparameter.

Dabei gibt das Konfidenzintervall die Sicherheit der Schätzung des Mittelwerts an. Das verwendete Konfidenzniveau ist 95%, so dass in diesem Fall (mindestens) 95% aller gemessenen Daten den wahren Wert der zu untersuchenden Population beinhalten.

Bei keinen der hier untersuchten Parameter wurde die Annahme der Normalverteilung verletzt.

Die Tabelle 6 präsentiert die Resultate der Statistik für die gemessenen objektiven Werte zur Bewertung der präparierten Konvergenzwinkel durch die Probanden.

Messwerte		N	MW	Median	SD	95% KI	
Messgröße						Min	Max
Konvergenzwinkel	Gesamt	79	25,44°	25.17°	5.43°	13,30°	40,37°
	Mit Zubehör	40	25.96°	25.79°	4,87°	16,10°	35,14°
	Ohne Zubehör	39	24.90°	24.71°	5,97°	13,30°	40,37°

Tabelle 6: Ergebnisse der Konvergenzwinkel-Messung mittels LMU-Programm

Der Mittelwert für die Konvergenzwinkel aller neunundsiebzig Präparationen der Probanden beträgt 25,44°.

Das 95%-Konfidenzintervall für den Konvergenzwinkel gesamt hilft einzuschätzen, wie gut man diesem Wert vertrauen kann. Konfidenzintervalle werden daher auch Vertrauensbereiche genannt. Die Untergrenze des 95%-Konfidenzintervalls liegt bei 13,3° und die Obergrenze bei 40,37°. Somit ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass bei der Ziehung einer weiteren Stichprobe (vom gleichen Umfang und aus der gleichen Grundgesamtheit) der neu ermittelte Mittelwert zwischen 13,3° und 40,37° liegt, mindestens 95%.

Abbildung 46 zeigt den mittelwertigen präparierten Konvergenzwinkel der präparierten Modelle nach der Bearbeitung entweder mit Zubehör (with) oder ohne individuellen Zubehör (without). Der Konvergenzwinkel ist hier in [Grad] angegeben.

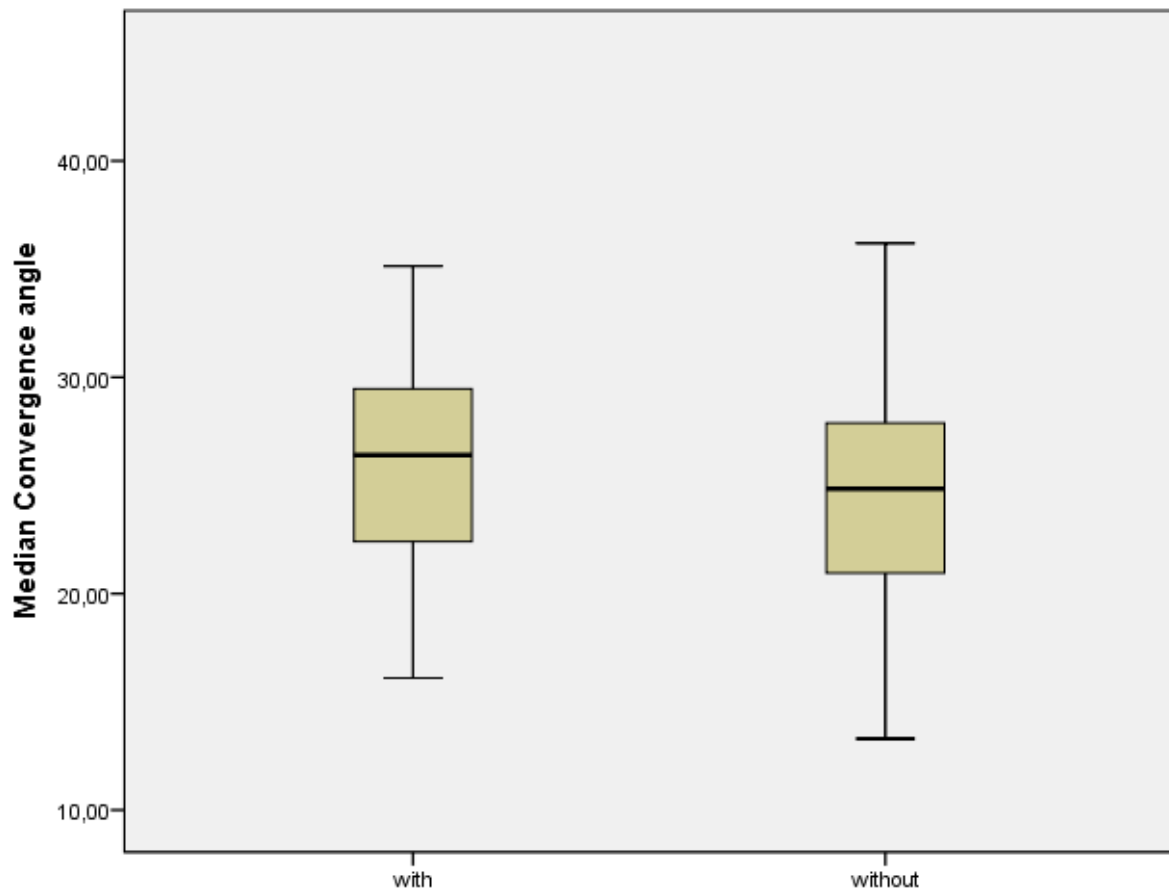


Abbildung 46: Ergebnisse der Konvergenzwinkel-Messung mittels LMU-Software

Im Fall der 72 unerfahrenen Zahnmedizin-Studierenden liegt der Mittelwert sowohl mit Zubehör 25,96 Grad als auch ohne Zubehör bei 24,90 Grad deutlich über dem empfohlenen Maximalwert von 15 Grad. Allerdings gab es bei beiden Variationen einige Präparationsleistungen die dem empfohlenen Konvergenzwinkel von maximal 15 Grad sehr nah kamen.

Die Tabelle 7 präsentiert die Resultate der Statistik für die gemessenen objektiven Werte zur Bewertung der präparierten Stufenbreite durch die Probanden. Die Stufenbreite ist hier in [mm] angegeben.

Messwerte Messgröße		N	MW	Median	SD	95% KI	
						Min	Max
Stufenbreite	Gesamt	79	0.63	0.59	0.22	0.14	1.33
	Mit Zubehör	40	0.65	0.62	0.24	0.14	1.33
	Ohne Zubehör	39	0.61	0.58	0.21	0.29	1.06

Tabelle 7: Ergebnisse der Stufenbreiten-Messung mittels LMU-Software

Abbildung 47 zeigt die mittelwertige präparierte Stufenbreite der präparierten Zähne nach der Bearbeitung entweder mit Zubehör (with) oder ohne individuellen Zubehör (without).

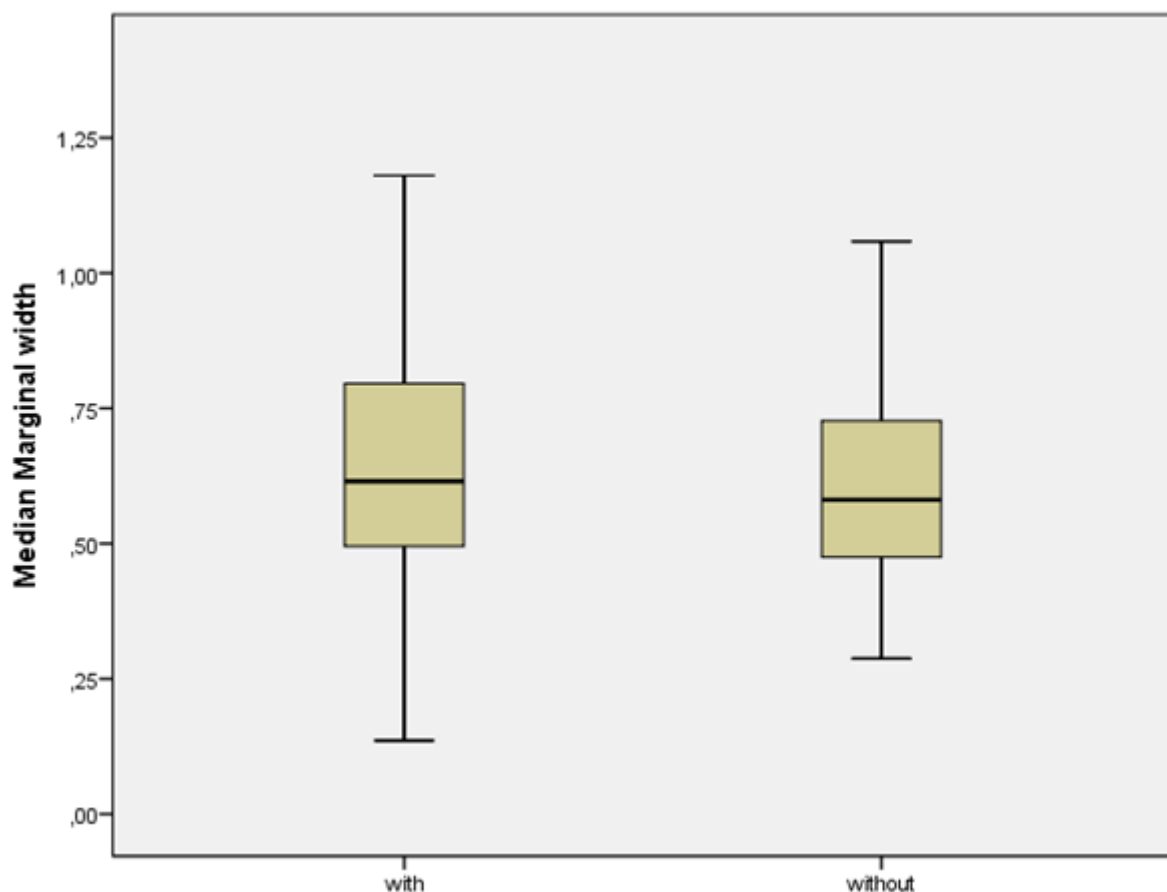


Abbildung 47: Mittelwertige Stufenbreite nach Bearbeitung mit/ohne Zubehör

Die Studierende der Gruppe B ohne Zubehör waren im Durchschnitt mit 0,61 mm näher an der empfohlenen Stufenbreite von 0,5 mm und damit etwas genauer als die Gruppe A mit dem individuellen Zubehör dessen durchschnittliche Stufenbreite 0,65 mm betrug.

Die Tabelle 8 präsentiert die Resultate der Statistik für die gemessenen objektiven Werte zur Bewertung des Präparationswinkels.

Messwerte Messgröße		N	MW	Median	SD	95% KI	
						Min	Max
Präparationswinkel	Gesamt	79	13.49°	13.23°	3.41°	7.68°	22.05°
	Mit Zubehör	40	13.59°	13.60°	3.18°	7.68°	20.56°
	Ohne Zubehör	39	13.38°	12.79°	3.67°	7.92°	22.05°

Tabelle 8: Ergebnisse der Präparationswinkel-Messung mittels LMU-Software

Abbildung 48 zeigt den mittelwertigen präparierten Präparationswinkel der präparierten Zähne nach der Bearbeitung entweder mit Zubehör (mit) oder ohne individuellen Zubehör (ohne). Der Präparationswinkel ist hier in [Grad] angegeben.

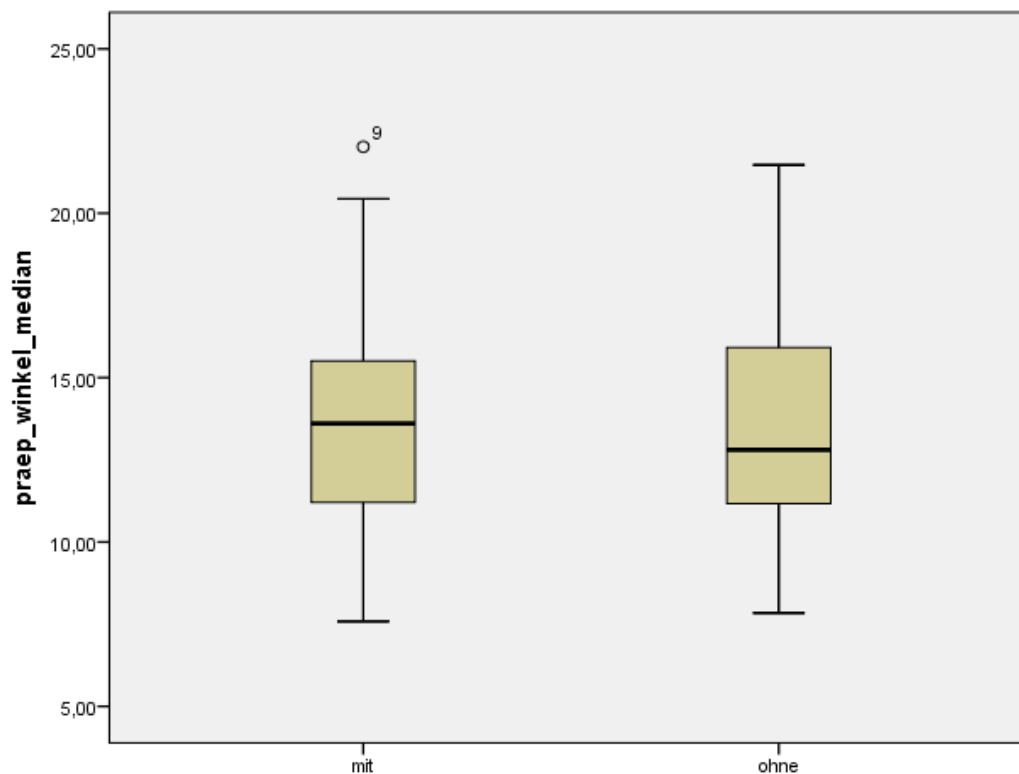


Abbildung 48: Ergebnisse der mittelwertigen Präparationswinkel mit/ohne Zubehör

Der einfache Präparationswinkel ist der Winkel zwischen der Kronenachse und der präparierten Zahnfläche. Er wird auch Konuswinkel genannt, weil er leicht konisch präpariert werden soll. Der empfohlene Maximalwert sollte 7,5 Grad nicht überschreiten. Bei den Präparationsleistungen mit Zubehör war die Spanne (7,68-20,56 Grad) nicht so groß wie mit Standard-Winkelstück ohne Zubehör (7,92-22,05 Grad). Die Standardabweichung (SD) von 3,18 Grad ist mit Zubehör niedriger als 3,67 Grad ohne Zubehör.

Die Tabelle 9 präsentiert die Resultate der Statistik für die gemessenen objektiven Werte zur Bewertung der erzeugten Präparationslängen durch die Zahnmedizin Studierenden. Die Präparationslänge ist hier in [mm] angegeben.

Messwerte Messgröße		N	MW	Median	SD	95% KI	
						Min	Max
Präparationslänge	Gesamt	79	0.91	0.85	0.39	0.26	1.65
	Mit Zubehör	40	0.84	0.83	0.27	0.26	1.48
	Ohne Zubehör	39	0.97	0.92	0.49	0.48	1.65

Tabelle 9: Ergebnisse der Präparationslängen-Messung mittels LMU-Software

Abbildung 49 zeigt die mittelwertigen erzeugten Präparationslängen der präparierten Zähne nach der Bearbeitung entweder mit Zubehör (mit) oder ohne individuellen Zubehör (ohne).

Die Präparationslänge ist hier in [mm] angegeben.

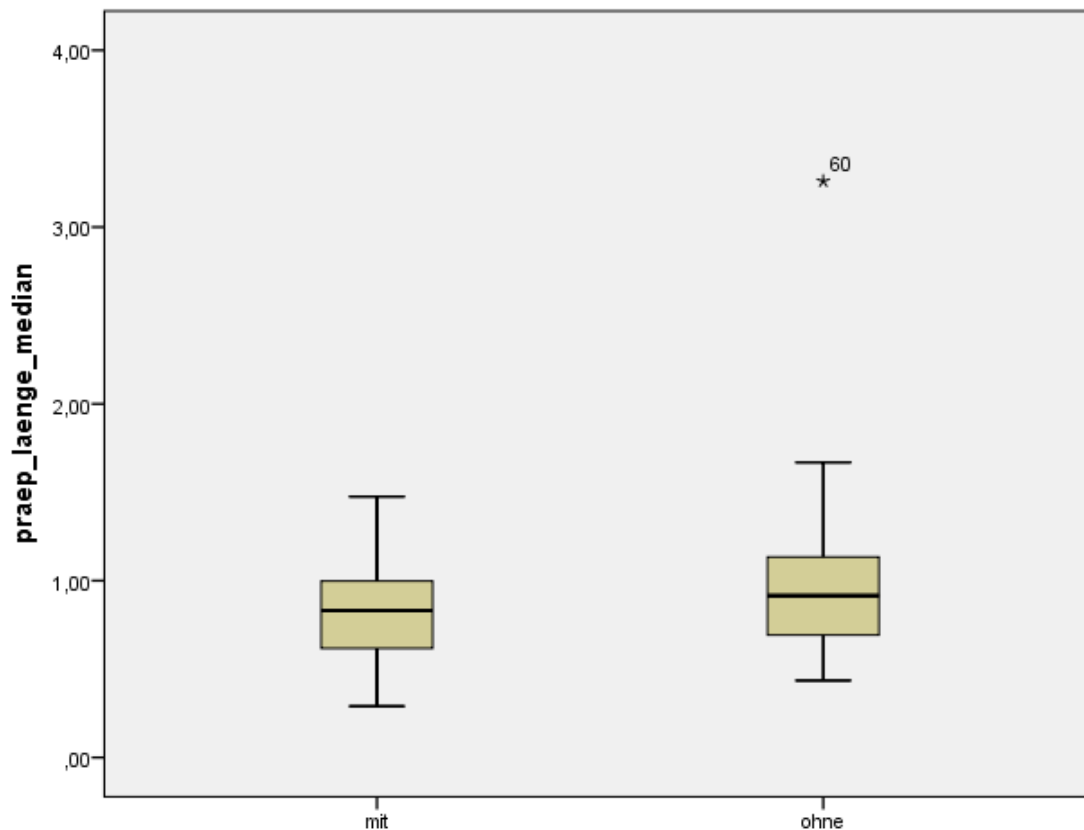


Abbildung 49: Ergebnisse der mittelwertigen Präparationslänge mit/ohne Zubehör

Die Präparationslänge bzw. Mindesthöhe der leicht konischen Wände sollte 3 mm nicht unterschreiten. Beide Präparationsgruppen unterschritten den empfohlenen Wert deutlich um fast die Hälfte, allein ein Proband war mit 3,35 mm nah an der empfohlenen Mindesthöhe. Alle anderen Probanden haben deutlich zu viel Zahnhartsubstanz abgetragen.

Die Tabelle 10 präsentiert die Resultate der Statistik für die gemessenen objektiven Werte zur Bewertung der präparierten Unterschnitte durch die Probanden.

Messwerte		N	MW	Median	SD
Messgröße					
Unterschnitte	Gesamt	79	0.14	.00	0.34
	Mit Zubehör	40	0.11	.00	0.32
	Ohne Zubehör	39	0.16	.00	0.37

Tabelle 10: Ergebnisse der Unterschnitt-Messung mittels LMU-Software

Abbildung 50 zeigt die mittelwertigen präparierten Unterschnitte der präparierten Zähne nach der Bearbeitung entweder mit Zubehör (mit) oder ohne individuellen Zubehör (ohne).

Der Unterschnitt ist hier in [mm] angegeben.

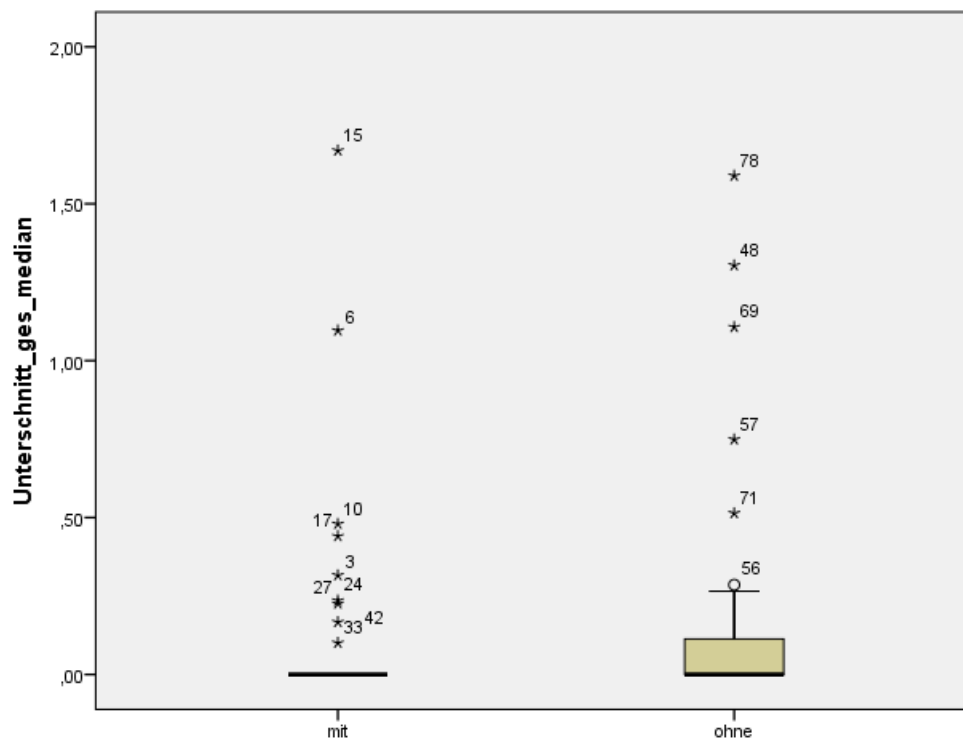


Abbildung 50: Ergebnisse der mittelwertigen Unterschnitte mit/ohne Zubehör

Die Studierende der Gruppe B ohne Zubehör haben deutlich mehr Unterschnitte präpariert als die Gruppe A mit dem individuellen Zubehör. Unterschnitte sind bei einer Vollgusskronenpräparation nicht erwünscht.

6. Diskussion

6.1. Diskussion der Studie

6.1.1. Aufbau

In der vorliegenden Arbeit wurde mit Hilfe eines Phantomkopfes die Präparationsarbeit der Zahnmedizin Studierenden des ersten Fachsemesters nachgestellt und eine Methodik zur Analyse und Bewertung des individuell an den Zahnarzt angepassten Winkelstück-Zubehöres hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit entwickelt.

Eine Situationsanalyse ergab dabei die notwendige Ausrichtung der Methodik auf den Behandlungsprozess des „Patienten“. Die entwickelte Methodik zum Ermitteln der Gebrauchstauglichkeit des individuellen Winkelstück-Zubehöres besteht aus der subjektiven Bewertung der funktionalen Prozessunterstützung sowie der Bedienbarkeit und einer Synthese der Einzelergebnisse, gemessen und analysiert durch das objektive Vermessungsprogramm der LMU. Die Gebrauchstauglichkeit ist dabei immer abhängig von dem „bestimmten Benutzer“, der z.B. in Ausbildung, Kenntnisstand und Alter variieren kann, und vom Nutzungskontext, in dem das Produkt verwendet wird. Die Gebrauchstauglichkeit beschreibt daher eine Nutzungsqualität und keine Produktqualität [14].

Bei der Diskussion der gesammelten Studienergebnisse ist daher der Kenntnisstand der sich noch in der Ausbildung befindlichen Zahnmedizinistudenten des ersten Fachsemesters bei der Beurteilung und den Analyseergebnissen steht's zu berücksichtigen.

6.1.2. Abdrucknahme und Probanden

Im Rahmen der Studie wurden sechsendreißig individuell an die Zahnmedizin Studierenden angepasste Winkelstück-Zubehöre getestet. Der Erfolg des individuellen Zubehöres (vor allem: eine gute Passform und ein zufriedenstellendes Handling) steht und fällt mit der Abdrucknahme und der Herstellung des Zubehöres. Daher ist eine Überprüfung des Designs mittels eines Design-Verifikationsprozesses sehr wichtig. Mit der Verifikation der Prototypen wird durch die Bereitstellung eines objektiven Nachweises bestätigt, dass festgelegte Anforderungen erfüllt oder nicht erfüllt worden sind [15].

Im Studienfall wurde den Probanden bei den Abdrucknahmen viel Zeit gegeben, um sich ihrer Fingerposition bewusst zu werden und diese abzubilden. Des Weiteren wurde die zweite, um 90° gedrehte Fingerposition durch ein kontrolliertes Umgreifen während der Abdrucknahme umgesetzt. Es ist somit die geeignete Basis für den Gebrauchstauglichkeitstest entstanden.

Für die Zukunft besteht allerdings weiterhin Optimierungspotential bei der Abdrucknahme: Eine Möglichkeit der Verbesserung läge zum Beispiel in einer realistischen Abdruckbasis mit originalem Gewicht und Länge. Das zur gebräuchlichen Fingerpositionierung nach vorn versetzte Platzieren des Zubehöres am Winkelstück könnte zum Beispiel durch das Anbringen von Begrenzungen an der Abdruckbasis vermieden werden.

Es wird deutlich, dass die gute Abdrucknahme entscheidend für die ideale Anpassung des Zubehöres an die Fingerposition des Zahnmediziners im Alltag ist.

Daher ist im Verlauf der Studie aufgefallen, dass die mangelnde Erfahrung der Probanden im Umgang mit den Instrumenten sich auf die erfolgreiche und ideale Abdrucknahme negativ auswirkt. Anfänglich wurde die durch Abdrucknahme entstandene fixe Fingerposition als Hilfe bei der Instrumentenführung im Alltag angenommen, allerdings befindet sich der Zahnmedizinstudierende im ersten Studiensemester noch in der Findungsphase und weiß noch gar nicht genau, was seine präferierte Arbeitsweise und damit verbundene Fingerposition ist. Das spiegelte sich im Resultat der hergestellten individuellen Zubehöre noch nicht auf dem ersten Blick wieder, aber es zeigte sich in den Ergebnissen der Gebrauchstauglichkeitsstudie.

6.2. Diskussion der Ergebnisse

Der Dentalschleifer ist eines der Hauptinstrumente des Zahnarztes. Somit kommt auch dem Winkelstück des Dentalschleifers als Schnittstelle zum Nutzer, der Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine, eine ganz besondere Bedeutung zu. Das Winkelstück beeinflusst direkt den Nutzen und den Komfort des Dentalinstrumentes. Durch diese Studie wurde erstmals die Möglichkeit realisiert, das Winkelstück durch das individuelle Zubehör ergonomisch und anwenderorientiert im Design an die Wünsche und Bedürfnisse des Benutzers anzupassen. Das ermöglicht eine einfache und schnelle Individualisierung des bestehenden Instrumentenportfolios des Zahnarztes. Um das Winkelstück in seinen Schnittstelleneigenschaften optimal anzupassen, ist es wichtig, dass das Zubehör die Anforderungen, Bedürfnisse und Wünsche des Benutzers in Bezug auf die Instrumentenführung, Design mit Optik und Haptik erfüllt. Es gelten die gesetzten Hypothesen:

1. Individuelle Winkelstück-Zubehöre wirken sich positive auf die Präparationsarbeit aus (sicheres Instrumentenhandling, positive Einstellung zum Instrument und zur Arbeit mit dem Instrument).
2. Individuelle Winkelstück-Zubehöre wirken sich positiv auf die Präparationsleistung aus (korekte und präzise Zahnpräparation).

Es galt die gesetzten Hypothesen zu analysieren und die erzielten Ergebnisse auszuwerten und zu diskutieren.

Die Hypothesen 1 wurde in der subjektiven Gebrauchstauglichkeits-Analyse und Hypothese 2 in der objektiven Gebrauchstauglichkeitsanalyse untersucht.

Kurzum wurde die übergreifenden Arbeitshypothese getestet, ob es einfacher und angenehmer ist, die Anforderungen einer State-of-the-Art Vollkronenpräparation mit einem maßgeschneiderten zahnärztlichen Winkelstück als mit einem Standard-Winkelstück zu erreichen. Die subjektive Bewertung wurde an der persönlichen Wahrnehmung der Studierenden während der Präparationsarbeit und die objektive Bewertung an der Präparationsleistung durch die Analyse der gesetzten Messgrößen: Konvergenzwinkel, Stufenbreite, Präparationswinkel, Präparationslänge und der Anzahl der Unterschnitte gemessen. Nachfolgend werden sowohl die Ergebnisse der Studie zur Design-Wahrnehmung der Probanden als auch die Ergebnisse der subjektiven und objektiven Dimension diskutiert.

6.2.1. Diskussion der Design-Wahrnehmung der Probanden

46% der Zahnmedizin Studierenden akzeptieren vorrangig Objekte, deren Formen oder Oberflächen über ihre Sinne erfahrbar sind. Sie ziehen strukturierte Oberflächen und natürliche Farben; glatten Oberflächen und intensiven Farben vor (Abbildung 51) und bevorzugen eher weiche, anschmiegsame Formen, als geometrisch exakten Formen (Abbildung 52) [62].



Abbildung 51: Strukturierte Oberflächen und natürliche Farben bevorzugt [40]

Die Probandengruppe zieht strukturierte Oberflächen und natürliche Farben (rechts) glatten Oberflächen und intensiven Farben vor

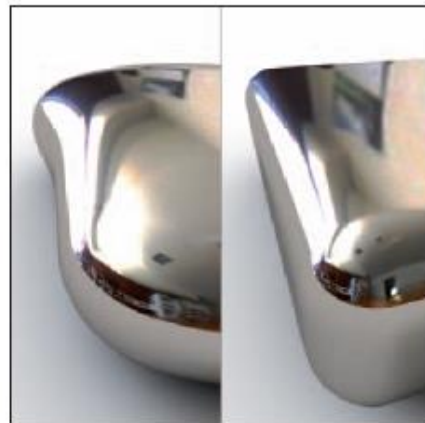


Abbildung 52: Weiche, anschmiegsame Formen bevorzugt [40]

Die Probandengruppe zieht weiche, anschmiegsame Formen (links) geometrisch exakten vor

Die unterschiedlichen Interpretationen der Wahrnehmungen zeigen, wie die Probanden die Welt wahrnehmen und wie sie ihren Eindrücken Sinn und Bedeutung zuordnen. Das Bild, das sich Menschen von der Welt machen, beeinflusst die Art und Weise, in der sie sich gegenüber ihrer Umwelt verhalten [29, 3]. Es gibt daher einen wesentlichen Zusammenhang zwischen ihrer Wahrnehmung und ihrem Verhaltensmuster.

Die Mehrzahl der Probanden akzeptiert vorrangig Objekte, die menschliche, freundliche Eigenschaften zeigen. Für den später behandelnden Zahnarzt spielt allerdings die emotionale Wahrnehmung wohl eher eine untergeordnete Rolle. Für ihn muss das Instrument vorrangig praktisch und funktional sein.

Hier bieten Kunststoffe für Designer und Produktentwickler mit ihrem Reichtum an Verarbeitungsvarianten mannigfaltige Möglichkeiten der Anpassung an die geforderten WahrnehmungsfILTER-Typen:

- S → Sensing-Typen
- N → iNtuitive Typen
- T → T(hinking)
- F → F(eeling)-Typen.

Im Rahmen der Studie Design-Wahrnehmung der Zahnmedizin Studierenden wurde deutlich, dass 46% der 72 Probanden sich emotional und spontan verhalten und somit zu den NF-Typen gehören. Dabei steht das N für iNtuitive und das F für Feeling. Das bedeutet ihre Wahrnehmung ist intuitiv und gefühlvoll. Abbildung 53 zeigt die entsprechenden Eigenschaften der vier Wahrnehmungs-Typen auf.

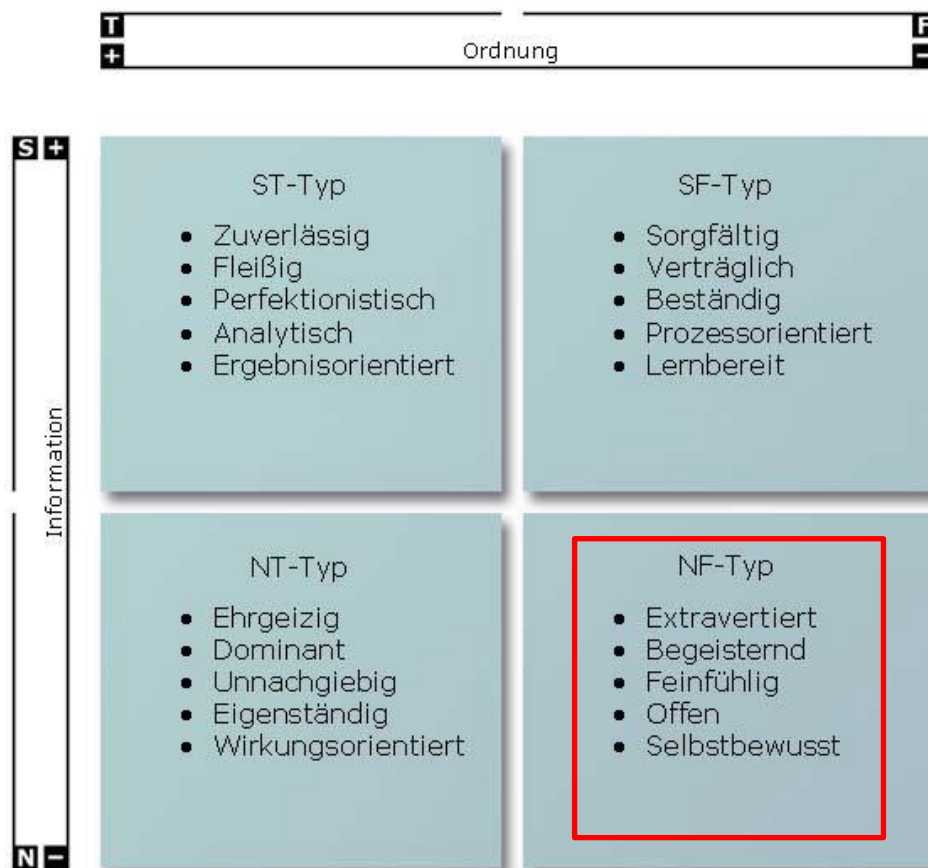


Abbildung 53: Eigenschaften der vier Wahrnehmungs-Typen [61]

Designelemente, die nur wenig Information enthalten und daher eher intuitiv errahnt als explizit erkannt werden können, sprechen intuitive Typen, also den N Typen, an.

Intuitive Typen nutzen diese Neigung, um das Wahrgenommene nach bereits gespeicherten und damit vergleichbaren Figuren zu identifizieren. Feeling-Typen suchen nach verbindenden, organischen Figuren, nach unscharfen und weichen Formen [61].

Unter Berücksichtigung aller Wahrnehmungsfilter lässt sich ein Gestaltungsrezept zum anwenderorientierten Produktdesign für Zahnmediziner ableiten.

Kunststoffe lassen sich in annähernd jede erdenkliche Form bringen, in ihrer Oberfläche einer gewünschten Textur oder Härte anpassen und in zahllosen Nuancen einfärben oder beschichten. Der Werkstoff erlaubt es, viele natürliche Materialien zu imitieren oder substituieren, sei es Metall, Holz, Kork, Marmor oder Glas. Entsprechend der Kategorisierung von Materialien sind die weiteren Wahrnehmungsfilter für Form, Struktur und Farbe im ViQ definiert (Abbildung 54). Dieses Potential gilt es bei Kunststoffen auszunutzen [40].

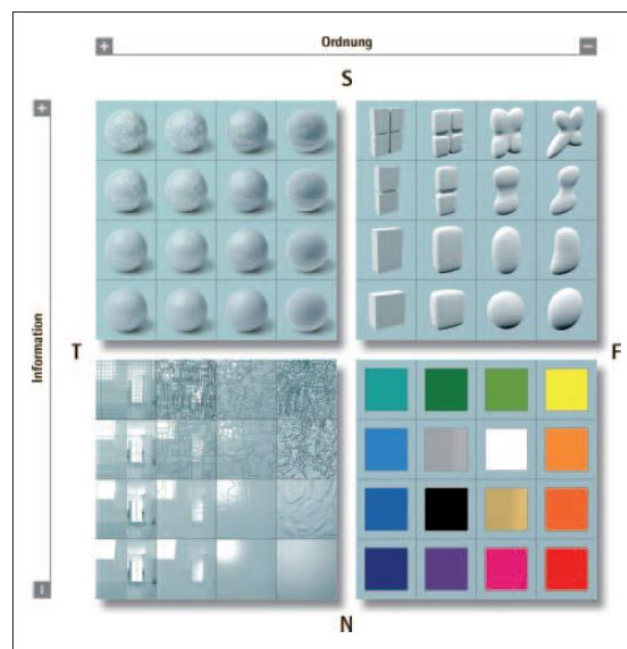


Abbildung 54: Wahrnehmungsfilter für die vier Gestaltungsmerkmale [40]
(Material, Form, Struktur und Farbe)

Um den subjektiv-gefühlsmäßigen Wahrnehmungsfiltern von Zahnmediziner zu entsprechen, sollte die Gesamtform, wie in der Abbildung 55 für NF-Typen beschrieben, rund, organisch, unscharf und anschmiegsam sein und eine Oberflächenstruktur haben, die nachgiebig bis sanft ist, bzw. sich an den Benutzer anpasst.

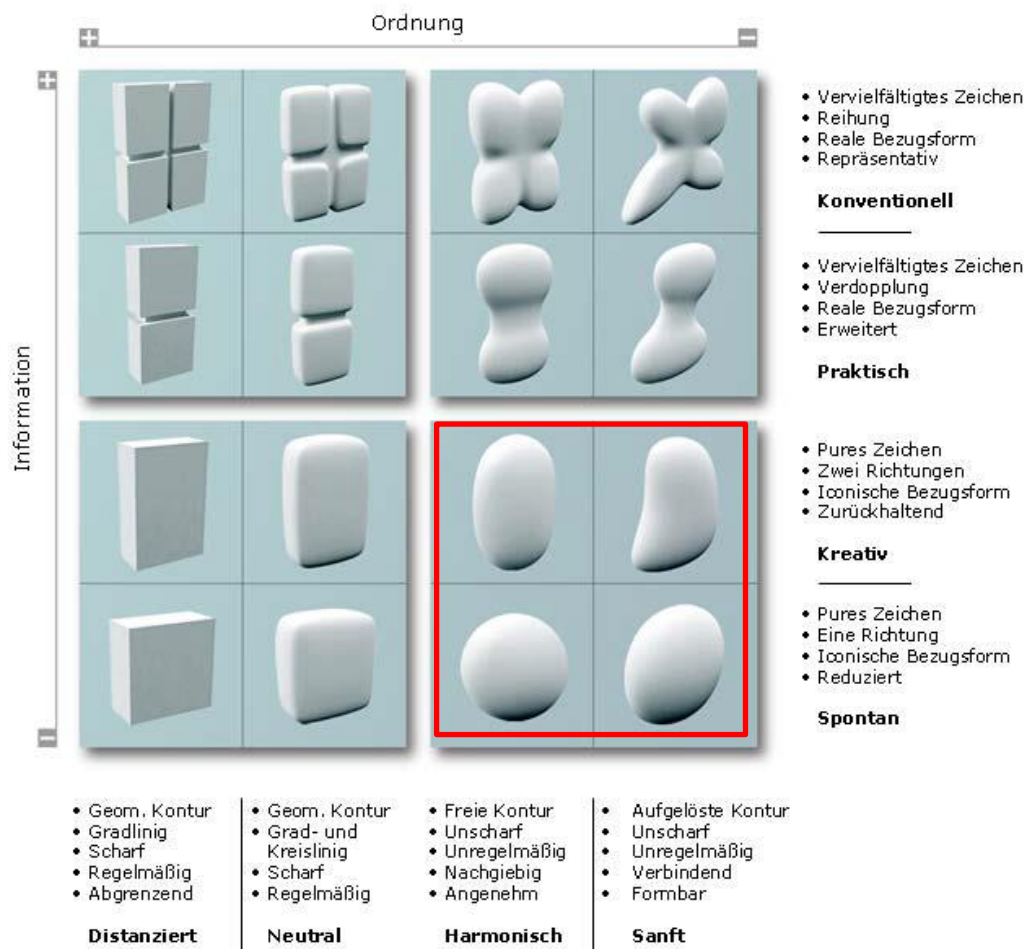


Abbildung 55: Wahrnehmungsfilter für das Gestaltungsmerkmal Form

Das Design darf für Zahnmediziner nicht zu reduziert wirken, aber sollte trotzdem klar und angepasst mit dem Basiswinkelstück harmonieren. Es könnten daher Formelemente wie Dekors und Farbtrennungen mit eingearbeitet werden.

Das Design und die Formelemente könnten zusätzlich an die entsprechende Patientengruppe und derer Wahrnehmungsfilter angepasst werden. So könnte man bei Kindern mit einem farbenfrohen und kindgerechten Zubehör-Design die Angst vorm Schleifinstrument und der Behandlung reduzieren oder sogar ganz nehmen. Bei einer Gemeinschaftspraxis könnte man durch das individuelle Design des Zubehöres eine bessere Zuortbarkeit von Instrumenten oder Behandlungsräumen erreichen.

Die Möglichkeit, ein Arbeitsinstrument, bzw. die Schnittstelle des Instrumentes zum Anwender (in dem Fall ein standardisiertes Winkelstück) mit einem individuellen Zubehör oder Accessoire flexibel so zu gestalten, wie es der persönlichen Wahrnehmungssituation und Stimmung entspricht, ist ein wichtiger Schritt für Arbeitsqualität der Zahnmediziner.

Es unterstützt das Wohlbefinden während der täglichen Arbeit. Nachdem 46% der Befragten emotional und spontan reagieren und entscheiden, ist es nicht verwunderlich, dass 67 % der 72 Probanden ein individuelles Zubehör für den Zahnarzt sinnvoll finden.

Ein individuelles Zubehör fördert die positive Einstellung gegenüber dem Arbeitsinstrument sowie der Arbeitssituation und beeinflusst somit unbewusst die Arbeitsbereitschaft. Alleine die Möglichkeit für den Zahnarzt zu schaffen, zwischen individuell angepasstem und standardisiertem Winkelstück zu wählen, wurde im Verlauf der Studie als ein Zeichen der Wertschätzung der Arbeit und Person gesehen.

Im nachfolgenden Kapitel wird daher verstärkt auf die subjektive Wahrnehmung des individuellen Zubehöres eingegangen.

6.2.2. Diskussion der Ergebnisse der subjektiven Dimension

Die subjektive Gebrauchstauglichkeit des Dentalschleifers wurde sowohl von den Zahnmedizin Studierenden als auch von vier auszubildenden erfahrenen Zahnmedizinern während der durchzuführenden Aktionen mit und ohne Zubehör bewertet. Der Gebrauch des Winkelstückes ohne Zubehör wurde von keinem Probanden als unangenehm empfunden. Das zeigt die bereits hohe Qualität der Standard-Winkelstücke der Qualitätsmarken. Diese Bewertung kann als „guter“ aber auch als herausfordernder Basiswert festgelegt werden.

Die subjektive Gebrauchstauglichkeit des Winkelstückes mit individuellem Zubehör wurde von den 72 Zahnmedizin Studierenden während aller Aktionsaufgaben unterschiedlich bewertet.

Wobei die Zufriedenheit im Umgang mit dem individuellen Winkelstück-Zubehör in Summe sehr positiv bewertet wurde. So wird die Arbeit mit dem Zubehör als hochwertig, präzise und filigran (durch den Vergleich mit dem Schreibinstrument „Füller“) beschrieben. Es wird deutlich, dass bereits die Arbeit mit einem hochwertigen Dentalschleifer ohne individuelles Zubehör als wertig und präzise in der Handhabung eingeschätzt wird. Allerdings wird durch die Befragung deutlich, dass man diese Wahrnehmung durch ein individuell an den Anwender angepasstes Zubehör noch weiter verstärken und damit ein stärkeres Gefühl von Sicherheit und Wohlbefinden im Instrumentenhandling erzielen kann.

Die Präzision und Schnelligkeit wird für beide Varianten (mit und ohne Zubehör) gleich gut eingeschätzt. Allerdings wurde die Zufriedenheit während des Arbeitens mit dem Zubehör als höher eingestuft, was einen Mehrwert für das individuelle Zubehör darstellt.

Und wer zufriedener bei der Arbeit ist, ist ausdauernder, empfindet Befriedigung bei der Arbeit und macht seine Arbeit gerne, was sich auf die positive Wahrnehmung der Patienten und den positiven Behandlungserfolg auswirken kann.

Des Weiteren sehen 50% der Zahnmedizin Studierenden einen wesentlichen ergonomischen Vorteil im individuellen Zubehör. Ein schmerzfreier Umgang durch individualisierte und ergonomische Instrumente sollte das Ziel eines Instrumente Herstellers sein. Dabei bietet das individuelle Zubehör laut der Probanden eine einfache und zielführende Lösung. Die Häufigkeit des Zubehör-Gebrauchs bestätigt zudem die große Akzeptanz und Wertschätzung des individuellen des Zubehöres. Jedoch haben einige Zahnmedizin Studierende ihr Zubehör so gut wie nie verwendet.

Der Nichtgebrauch des Zubehöres hängt mit dem Erfahrungsgrad der Probanden bei den Abdrucknahmen zusammen. Fast alle Zahnmedizinstudierende hatten vor den Abdrucknahmen für das Zubehör so gut wie keine Erfahrung im Instrumentengebrauch, somit auch nicht in der richtigen Handhabung und schon gar nicht im intuitiven Gebrauch des Winkelstückes sammeln können.

Da allerdings bei den Abdrucknahmen die intuitiven und gewohnten Fingerpositionen abgebildet werden, stellte sich bei den Abdrucknahmen von nicht erfahrenen Probanden der geringe Erfahrungsgrad als negativ heraus. Trotz intensiver Betreuung während der Abdrucknahme ist dieses Defizit nicht vollständig revidierbar.

Deshalb hat voraussichtlich bei der Bewertung des allgemeinen Eindrucks durch die Zahnmedizin Studierenden der des Winkelstückes mit individuellem Zubehör gut, aber trotzdem etwas schlechter als der des Standard-Winkelstückes ohne Zubehör abgeschnitten. Denn das Standard-Winkelstück lässt dem Studierenden den nötigen Freiraum in der Findungsphase der individuellen Fingerposition und Handhaltung bei den ersten Präparationserfahrungen. Es muss beim Anwender durch Übung erst die Basis für ein ideales individuelles Zubehör gelegt werden. Dass sich ein hoher Erfahrungsgrad im Instrumentenumgang positiv auf die Abdrucknahme und die Passung des individuellen Zubehöres auswirkt, zeigen die Befragungsergebnisse der erfahrenen Zahnmediziner:

Die subjektive Gebrauchstauglichkeit des Winkelstückes mit dem individuellen Zubehör wurde von vier auszubildenden und sehr erfahrenen Zahnmedizinern während aller Aktionsaufgaben bei der Präparation, als spürbar angenehmer und besser als der Gebrauch des Winkelstückes ohne Zubehör bewertet.

Im direkten Vergleich hatte das Winkelstück mit dem anwenderorientierten und individualisierten Zubehör bereits nach fünfminütigen Gebrauch bei allen erfahrenen Zahnmedizinern gleich gut oder besser als das Standard-Winkelstück abgeschnitten.

Der allgemeine positive Eindruck vom Winkelstück mit individualisiertem Zubehör im Vergleich zum Winkelstück ohne Zubehör bei erfahrenen Zahnmedizinern wird im positiven Ranking für das Zubehör deutlich.

Im anschließenden Interview begründeten die erfahrenen Zahnmediziner ihre Entscheidungen für die positive Bewertung des Winkelstückes mit Zubehör u.a. wie folgt:

- Leichtes Montieren und Demontieren;
- Hohe Passgenauigkeit des Zubehöres am Dentalwinkelstück;
- „Blindes“ Greifen/Fassen und in der Hand positionieren → „Traumwandlerische Sicherheit“;
- Bequemer und ergonomischer Griff;
- Angenehme Instrumentenhandhabung;
- Definiertes und sicheres Instrumentenführen;
- Geringere Ermüdungserscheinungen;

Als Fazit der subjektiven Bewertung kann man zusammenfassend sagen, dass das individuelle Zubehör einen Mehrwert erst für erfahrene Anwender bietet. In der Ausbildung wird daher empfohlen, das Zubehör erst nach dem ersten Fachsemester und den damit verbundenen praktischen Übungen, einzusetzen. Erst dann profitieren sowohl Zahnmedizinist:innen und erfahrene Zahnmediziner von der „Traumwandlerischen Sicherheit“ beim Greifen, Fassen und Positionieren des Winkelstückes in der Hand.

6.2.3. Diskussion der Ergebnisse der objektiven Dimension

In wie weit der Einsatz eines individuellen Zubehöres die Präparationsleistung beeinflusst wird in der Diskussion der objektiven Dimension der Studie diskutiert. Besonders in der studentischen Ausbildung helfen die modernen CAD/CAM-Technologien, die Ausbildung zu verbessern und auf dem aktuellen Stand der Technik zu bleiben. Die CAD-unterstützten Lehrprogramme können Hilfestellung in der Bewertung leisten, indem die erstellten Präparationen untersucht werden können. Dem Studierenden kann somit ein schnelles Feedback seiner Arbeit gegeben werden. Das Vermessungsprogramm der LMU wurde im Laufe der Studie für die Vermessung der Zahnpräparationen zur Analyse der Stumpfpräparation nach den Qualitätsparametern von Guth, Wallbach, Gernet, Beuer und Edelhoff [27] verwendet.

Das Vermessungsprogramm der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der LMU München ist eine optimierte Software, die den personellen und zeitlichen Aufwand weiter reduziert. Die Software ermöglicht es, große Datenmengen ohne Benutzereingriffe zu analysieren. Dadurch können auch große Datenmengen für klinische Fragestellungen zu Verfügung gestellt werden, die auf Grund der Datengröße sonst nicht hätten bearbeitet werden können.

Die Ergebnisse der objektiven Bewertung der Präparationen mit dem Zubehör zeigen insgesamt keinen deutlich messbaren Mehrwert des individuellen Winkelstück-Zubehöres. Die Ergebnisse haben allerdings nur eine bedingte Aussagekraft, weil die Studierende des ersten Fachsemesters keine bis wenig Erfahrung im Präparieren hatten und sich am Anfang ihrer Ausbildung befanden. Die Präparationsleistungen der Studierende entsprechen daher ohnehin noch längst nicht den Anforderungen eines fertig ausgebildeten Zahnmediziners.

Die Studierende der Gruppe B ohne Zubehör waren im Durchschnitt näher an der empfohlenen Stufenbreite von 0,5 mm und damit genauer als die Gruppe A mit dem individuellen Zubehör. Unabhängig von der Präparationsgrenze und Zahnoberfläche haben allerdings die meisten Studierenden tendenziell zu viel als zu wenig abgetragen. Beide Gruppen waren daher nicht erfolgreich.

Bei der Konvergenzwinkel-Präparation zeigen beide Gruppen Unterschnitte (Bereiche <0 Grad). Die Studierende der Gruppe B ohne Zubehör haben deutlich mehr Unterschnitte präpariert als die Gruppe A mit dem individuellen Zubehör. Unterschnitte sind bei einer Vollgusskronen-präparation nicht erwünscht.

In einer Studie von Kent wurden an von erfahrenen Zahnärzten im Mund präparierten Zähnen, Konvergenzwinkel von 8,6-26,6 Grad [57] ermittelt. Als klinisch erreichbar sieht man deshalb bei einer noch ausreichenden Retention einen durchschnittlichen Konvergenzwinkel von maximal ca. 15 Grad an [23, 57, 19, 70].

Im Fall der 72 unerfahrenen Zahnmedizin-Studierenden liegt der Mittelwert der Konvergenzwinkel-Präparation sowohl mit Zubehör bei 25,96 Grad als auch ohne Zubehör bei 24,90 Grad und damit deutlich über dem empfohlenen Konvergenzwinkel-Maximalwert von 15 Grad. Allerdings gab es bei beiden Gruppen einige Präparationsleistungen die dem empfohlenen Konvergenzwinkel von maximal 15 Grad sehr nah kamen. Das kann am größeren Erfahrungsschatz der entsprechenden Probanden liegen, weil einige bereits eine Zahntechnikerausbildung durchlaufen haben und somit bereits geübter und sicherer in der Präparationsarbeit waren. Übergreifend ist auch hier die Aufgabe der Präparation des Konvergenzwinkels von beiden Gruppen daher nicht erfolgreich erfüllt wurden.

Die Präparationslänge bzw. Mindesthöhe der leicht konischen Wände sollte 3 mm nicht unterschreiten. Beide Präparationsgruppen unterschritten den empfohlenen Wert deutlich um fast die Hälfte, allein ein Proband war mit 3,35 mm nah an der empfohlenen Mindesthöhe. Alle anderen Probanden, egal ob mit oder ohne Zubehör, haben deutlich zu viel Zahnhartsubstanz abgetragen.

Bei der gesamten objektiven Bewertung wurde also kein signifikant messbarer Unterschied der Präparationsleistungen mit und ohne Zubehör festgestellt.

Beide Gruppen präparierten ihrem Wissenstand entsprechend und zeigten dem zur Folge einen hohen praktischen Lernbedarf. Auch hier zeigt sich, dass ein tatsächlicher Mehrwert erst bei einer Studie mit erfahrenen Zahnmedizinerinnen ermittelbar ist.

7. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, ein individuell für den Zahnarzt auf seine ergonomische Finger- und Handposition während der Präparationsarbeit, angepasstes Zubehör für dentale Winkelstücke zu fertigen, um die Arbeit des Zahnarztes angenehmer zu gestalten. Anschließend wurde dessen Gebrauchstauglichkeit aus subjektiver und objektiver Sicht evaluiert.

Um eine Aussage über die Wahrnehmung der Zahnmedizin Studierenden treffen zu können wurde eine Studie zur Design-Wahrnehmung durchgeführt. Um den subjektiv-gefühlsmäßigen Wahrnehmungsfiltren von Zahnmedizin Studierenden und damit zukünftigen Zahnmedizinern zu entsprechen, sollte die Gesamtform des individuellen Zubehöres rund, organisch, unscharf und anschmiegsam sein und eine Oberflächenstruktur haben, die nachgiebig bis sanft ist. Für den Zahnmediziner darf das Design nicht zu reduziert wirken, muss aber trotzdem klar und angepasst mit dem Basiswinkelstück harmonisieren. Es können Formelemente wie Dekors und Farbtrennungen mit eingearbeitet werden. Das Design und die Formelemente können zusätzlich an die entsprechende Patientengruppe angepasst werden.

Zur Evaluation der Gebrauchstauglichkeit des individuellen Winkelstück-Zubehöres wurden 72 Zahnmedizin Studierende des ersten Fachsemesters der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Ludwig Maximilian Universität angewiesen, den rechten ersten unteren Molaren (FDI 46) eines Zahnmodells in einem Phantomkopf zur Erstellung einer Vollgusskrone zu präparieren. Das Ziel der Hohlkehlpräparation war es, zu bewerten, ob die Verwendung der individuellen Winkelstück-Zubehöre (im Vergleich zum Standard-Winkelstück) messbare Auswirkungen auf die subjektive Wahrnehmung und Wirkung während des Instrumentengebrauches und die objektive Präparationsleistung hat.

Um die subjektive Gebrauchstauglichkeit zu bewerten, wurden die Studierende mittels Fragebogen nach ihrer Meinung und persönlichen Wahrnehmung des Zubehöres während der Präparationsarbeit befragt.

Die subjektive Gebrauchstauglichkeit des Winkelstückes mit dem individuellen Zubehör wurde von den Studierenden während aller Aktionsaufgaben positiv bewertet. Die Zufriedenheit im Umgang mit dem individuellen Winkelstück-Zubehör wurde sehr positiv beurteilt. So wird die Arbeit mit dem Zubehör als hochwertig, präzise und filigran (durch den Vergleich mit dem Schreibinstrument, Füller) beschrieben. Die Präzision und Schnelligkeit wird für beide Varianten (mit und ohne Zubehör) gleich gut eingeschätzt. 50 % der Studierenden sehen einen ergonomischen Vorteil im individuellen Zubehör, auch wenn einige der Probanden ihr Zubehör so gut wie nie verwendet haben.

Der Nichtgebrauch der Zubehöre hängt offenbar mit dem Erfahrungsgrad der Probanden bei den Abdrucknahmen zusammen. Fast alle Zahnmedizinstudierende haben vor der Abdrucknahme für das Zubehör so gut wie keine Erfahrung im Instrumentengebrauch, somit auch nicht in der richtigen Handhabung und nicht im intuitiven Gebrauch des Winkelstückes sammeln können. Da allerdings bei den Abdrucknahmen die intuitiven und gewohnten Fingerpositionen abgebildet werden, stellte sich bei den Abdrucknahmen von nicht erfahrenen Probanden der geringe Erfahrungsgrad als negativ heraus. Trotz intensiver Betreuung während der Abdrucknahme ist dieses Defizit nicht vollständig revidierbar.

Aus diesem Grund wurde die subjektive Gebrauchstauglichkeit zusätzlich von vier erfahrenen Zahnmedizinern durchgeführt und bewertet. Dort überzeugte im direkten Vergleich das Winkelstück mit dem individualisierten Zubehör bei allen erfahrenen Zahnmedizinern durch die leichte Montage, die hohe Passgenauigkeit am Dentalhandstück, den bequemen und ergonomischen Griff sowie eine definierte und sichere Instrumentenführung. Erfahrene Zahnmediziner würden gerne wieder zum individuellen Zubehör greifen und sehen darin einen Mehrwert für ihre tägliche Arbeit.

Die objektive Analyse der Präparationsleistung erfolgte mit Hilfe des Vermessungsprogramms der LMU. Bei der objektiven Bewertung der Präparationen wurde kein signifikant messbarer Unterschied der Präparationsleistungen mit und ohne Zubehör festgestellt. Die Ergebnisse haben allerdings nur eine bedingte Aussagekraft, weil die Studierenden des ersten Fachsemesters keine bis wenig Erfahrung im Präparieren hatten und sich am Anfang ihrer Ausbildung befanden. Die Präparationsleistungen der Zahnmedizin Studierenden entsprechen daher ohnehin noch längst nicht denen eines fertig ausgebildeten Zahnmediziners.

Die Studierenden der Gruppe B ohne Zubehör waren im Durchschnitt näher an der empfohlenen Stufenbreite von 0,5 mm und damit genauer als die Gruppe A mit dem individuellen Zubehör. Unabhängig von der Präparationsgrenze und Zahnoberfläche haben allerdings die meisten Studierenden zu viel als zu wenig abgetragen. Die Studierenden der Gruppe B ohne Zubehör haben deutlich mehr Unterschnitte präpariert als die Gruppe A mit dem individuellen Zubehör. Im Fall der 72 unerfahrenen Zahnmedizin Studierenden liegt der Mittelwert der Konvergenzwinkel-Präparation sowohl mit Zubehör, 25,96 Grad, als auch ohne Zubehör, 24,90 Grad, damit deutlich über dem empfohlenen Konvergenzwinkel-Maximalwert von 15Grad. Die Präparationslänge bzw. Mindesthöhe der leicht konischen Wände sollte 3 mm nicht unterschreiten. Beide Präparationsgruppen unterschritten den empfohlenen Wert deutlich um fast die Hälfte. Alle Probanden, egal ob mit oder ohne Zubehör, haben deutlich zu viel Zahnhartsubstanz abgetragen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das individuell für den Zahnarzt bzw. auf seine während der Präparationsarbeit ergonomische Finger- und Handposition, angepasste Zubehör für dentale Winkelstücke einen subjektiv wahrgenommenen Mehrwert bietet, sobald bei der Abdrucknahme ein gewisser Erfahrungsgrad in der Instrumentenhandhabung vorhanden ist. So empfiehlt sich für unerfahrene Zahnmedizinstudierende anfänglich der Gebrauch eines Standard-Winkelstückes, weil es den nötigen Freiraum in der Findungsphase der individuellen Fingerposition und Handhaltung bei den ersten Präparationserfahrungen lässt. Es muss erst ein hoher Erfahrungsgrad im Instrumentenumgang vorhanden sein, bevor eine ideale Abdrucknahme und Passung des individuellen Zubehöres erzielt werden kann.

Während der gesamten objektiven Bewertung wurde kein signifikant messbarer Unterschied der Präparationsleistungen mit und ohne Zubehör festgestellt. Beide Gruppen präparierten ihrem Wissenstand entsprechend und zeigen noch einen hohen praktischen Lernbedarf.

Auch hier zeigte sich, dass ein wirklicher Mehrwert valide erst bei einer Studie mit erfahrenen Zahnmedizinern ermittelbar ist.

Ob individuelle Winkelstück-Zubehöre für den klinischen Gebrauch geeignet sind, kann aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit nicht zu hundert % abgeleitet werden. Es empfiehlt sich dies in weiteren klinischen Studien mit erfahrenen Zahnmedizinern zu überprüfen.

8. Literaturverzeichnis

- [1] ARNETZL, G., DORNHOFFER R.: PREPassistant: a system for evaluating tooth preparations, International Journal of Computerized Dentistry, 7(2), 2004
- [2] ALSCHER G.: Das Verhalten teilkristalliner Thermoplaste beim Lasersintern. Dissertation, Universität-GH Essen, 2000
- [3] ARNHEIM R.: Kunst und Sehen, eine Psychologie des schöpferischen Auges, Walter de Gruyter, Berlin, 2000
- [4] BACKHAUS C.: Entwicklung einer Methode zur Analyse und Bewertung der Gebrauchstauglichkeit von Medizintechnik. PROMEDIKS - Prozessorientierte Medizintechnik in klinischen Systemen. Dissertation der Technischen Universität Berlin, 2004
- [5] BILD GESUNDHEITSRATGEBER: <http://www.bild.de/ratgeber/gesund-fit/fg-18633286,cid=18632796.bild.html>, 26.03.2012
- [6] BRAUCKHOFF G., (Hrsg): Gesundheitsberichterstattung des Bundes – Heft 47, Robert Koch-Institut, Berlin, 2009
- [7] BEUER F., SCHWEIGER J., EDELHOFF D.: Digital desistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. British dental journal, 2008
- [8] BÜCHEL D. M.: Entwicklung einer allgemeingültigen Standardprozedur zur Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit medizintechnischer Produkte, Universität Tübingen, 2010
- [9] BUNDESZAHNÄRZTEKAMMER: Zahnärztliche Versorgung. Daten & Fakten 2010, BZÄK Statistisches Jahrbuch, 2011
- [10] COLON P.: Design Anforderungen und Wünsche eines Zahnarztes an sein Dentalinstrument, Korrespondenz mit Kohler Medizintechnik, persönliche Mitteilung, 08.09.2011
- [11] DESIGN CONTROL GUIDANCE FOR MEDICAL DEVICE MANUFACTURERS, FDA, 1997
- [12] DIN EN 60601-1-6: Medizinische elektrische Geräte Teil 1-6: Allgemeine Festlegungen für die Sicherheit - Ergänzungsnorm: Gebrauchstauglichkeit, Beuth Verlag, Berlin, 2005
- [13] DIN 69901: Projektmanagement; Projektmanagementsysteme, Beuth Verlag, Berlin, 2009
- [14] DIN EN ISO 9241-11: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit, Beuth Verlag, Berlin, 2006
- [15] EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe, Beuth Verlag, Berlin, 2005
- [16] EOSINT P 390 Laser-Sinter System für Kunststoffpulver, Bedienung, Technische Daten, EOS GmbH, 2008
- [17] EOSINT P 100 Maschinendaten, EOS GmbH, 2011
- [18] ERDELT K.: Objective Analysis of Dental Preparation, Ludwig Maximilians Universität München, 2014
- [19] ESSER C, KERSCHBAUM T, WINKELMANN V, MEHL A, GLOGER W: Computergestützte Untersuchung von Zahnpräparationen. Dtsch Zahnarzt. Z 59, 2004

- [20] EßER W (2013).: DIE PARODONTITIS HABEN WIR NICHT IM GRIFF. Der Spiegel <http://www.spiegel.de/gesundheit/diagnose/vorstandsvorsitzender-der-kzbv-parodontitis-nicht-im-griff-a-934139.html>, 12.11.2015
- [21] KAYE R., CROWLES J.: Medical Device Use-Safety: Incorporating Human Factors Engineering into Risk Management – Identifying, Understanding, and Addressing Use-Related Hazards. U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration. Abruf unter: <http://www.fda.gov/cdrh/humfac/1497.pdf>, 10.07.2008
- [22] FIRCHAU. N. L.: Variantenoptimierende Produktgestaltung, Göttingen: Cuvillier, 2003
- [23] FREESMEYER WB: Klinische Prothetik Band I Festsitzender und implantatgetragener Zahnersatz. Hüthig, Heidelberg, 1995
- [24] GEBHARDT A.: Generative Fertigungsverfahren - Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Rapid Manufacturing, Hanser Verlag, München, 2007
- [25] GOODACRE, C. J., CAMPAGNI W., AQUILINO S.A.: Tooth preparations for complete crowns: an art form based on scientific principles, The Journal of Prosthetic Dentistry, 85(4), 2001
- [26] GROßKLAUS R. H. G.: Neue Produkte einführen, Von der Idee zum Markterfolg, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2008
- [27] GUTH, J. F., WALLBACH J, STIMMELMAYR M, GERNET W, BEUER F, EDELHOFF D.: Computer-aided evaluation of preparations for CAD/CAM-fabricated all-ceramic crowns. Clin Oral investigation 17(5), 2013
- [28] HOFFMANN-AXTHELM W: Lexikon der Zahnmedizin. 6. Auflage, Quintessenz-Verlag, Berlin, Chicago, London (usw.) 2002
- [29] HABERMANN H.: Kompendium des Industrie-Designs, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2003
- [30] HEMPELMANN, W.: Rapid Prototyping auf dem Weg zum Rapid Manufacturing. In: Zäh, M. F.; Reinhart, G. (Hrsg.): Seminar Rapid Manufacturing – Vom Prototypen zur Produktion, Augsburg. München: Herbert Utz, 2004
- [31] HEY J, KUPFER P, URBANNEK M AND BEUER F. Objective analysis of preparations in dental training: development of analytical software. Int J Comput Dent 16, 2013
- [32] HENNIG J., TJARKS-SOBHANI M., KRÖMKER H.: Usability und Technische Dokumentation. Lübeck. Schmidt-Römhild, 2006
- [33] EN ISO 13485: Medizinprodukte-Qualitätssicherungssystem- Anforderungen für regulatorische Zwecke, 2003
- [34] KAVO PRODUKTAUSKUNFT: <http://www.kavo.de/Produkte/Dental-Instrumente/Dentale-Hand-undWinkelstücke/GENTLEpower-LUX.aspx>, 07.03.2012
- [35] KOECK B: Kronen- und Brückenprothetik. Urban & Fischer, München, Stuttgart (usw.), 1999,
- [36] KERSCHBAUM T, PASZYNA C, KLAPP S, MEYER G: Verweilzeit- und Risikofaktorenanalyse von festsitzendem Zahnersatz. Dtsch Zahnärztl. Z 46, 1991
- [37] LAKE M.: Oberflächentechnik in der Kunststoffverarbeitung, Vorbehandeln, Beschichten, Funktionalisieren und Kennzeichnen von Kunststoffoberflächen, Carl Hanser Verlag, München, 2009

- [38] LEHMANN K.M., HELLWIG E., WENZ H.-J.: Zahnärztliche Propädeutik: Einführung in die Zahnheilkunde, Deutscher Zahnärzte Verlag Köln, 12. Auflage, 2012,
- [39] LEHMANN K.M., HELLWIG E., WENZ H.-J.: Zahnärztliche Propädeutik: Einführung in die Zahnheilkunde, Deutscher Zahnärzte Verlag Köln, 13. Auflage, 2015
- [40] LOERWALD D., SEUL T.: Patientengerechtes Design, Kunststoffe, Carl Hanser Verlag, München, 07/2007
- [41] MAINER H: Lege artis präparieren – Mit rotierenden Dentalinstrumenten für eine rationelle Präparation. Heraeus, Hanau, 2007
- [42] MED ENGINEERING: MED Werkstoffe, Sterilisation von Kunststoffen, Carl Hanser Verlag, München, 1-2 2012
- [43] MED PORTAL: Was Bakterien mit Zahnbelag, Gingivitis, Parodontitis und Karies zu tun haben: <http://www.medport.de/redaktion/bakterien.html>, 10.04.2012
- [44] MEDIZINPRODUKTEGESETZ in der Fassung der Bekanntmachung vom 7. August 2002, das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 29. Juli 2009 geändert worden ist
- [45] MARTIGNONI M, SCHONENBERGER A: Präzision und Kronenkontur in der restaurativen Zahnheilkunde. Quintessenz-Verlag, Berlin, Chicago, London (usw.), 1990
- [46] NISHIDA M, SOHMURA T AND TAKAHASHI J. Training in tooth preparation utilizing a support system. J ORAL REHABIL, 31, 2004
- [47] N.N.: SPIEGEL ONLINE: Demographie: Die Alten werden jünger, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/0,1518,359646,00.html>, 30.01.2012
- [48] OBERBACH K. (HRSG.): Saechting Kunststoff Taschenbuch, 29. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 2004
- [49] OLSCHESKI F.: „Additive Manufacturing für ein anwenderorientiertes Dentalinstrumentendesign“, Masterarbeit, OvGu Magdeburg, 2012
- [50] OLSCHESKI F.: „Probandenfragebogen Wahrnehmung und Wirkung Ihres individuellen Zubehöres“, Studie LMU, 2014
- [51]. PONN J., LINDEMANN U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte: Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen, Springer –Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011
- [52] RP-TOOLS BETRIEBSANLEITUNG EOS, EOS Intranet: http://eosweb/techdocu/RP-Tools/files_RP-Tools.htm, 13.03.2012
- [53] SCHATTE V.: Konzeptentwicklung einer Einweglanzette im Bereich Diabetes Care, Diplomarbeit FH Bielefeld, 2008
- [54] SCHWEIGER J.: Technische Laborleitung der LMU-Poliklinik für zahnärztliche Prothetik, persönliche Mitteilung, 20.12.2011
- [55] SCHWENZER N.: Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde, Stuttgart, Thieme, 1994
- [56] SCHWENDICKE F.: Selektive Kariesentfernung: Evidenz und Praxis – Chancen und Hürden Habilitationsschrift Charité – Universitätsmedizin Berlin, 2014
- [57] SHILLINGBURG HT, JACOBI R, BRACKETT SE: Grundlagen der Zahnpräparation für Zahnersatz aus Metall und Keramik. Quintessenz-Verlag, Berlin, Chicago, London (usw.), 1988

- [58] SEITZ T.: Ergonomie in der Medizintechnik - Anforderungen an die Entwicklung gebrauchstauglicher Bedienkonzepte, mt Medizintechnik 127, 2007
- [59] SEYMOUR KG, CHERUKARA GP, SAMARAWICKRAMA DY, ZOU L. Consistency of labial finish line preparation for metal ceramic crowns: an investigation of a new bur. J Prosthodont 17, 2008
- [60] STAINER M., KULMER S: Systematische Präparation von Pfeilerzähnen. Stomatologie 94, 1997
- [61] SCHEFFER, D. & LOERWALD, D.: Messung von Persönlichkeitseigenschaften mit dem Visual Questionnaire (ViQ) - Attraktivität als Nebengütekriterium, Innovative Ansätze für die Eignungsdiagnostik, Hogrefe, Göttingen, 2008
- [62] SCHEFFER D., LOERWALD D., MIKOLEIT B.: Vom Umgang mit der Krankheit Diabetes, Diabetes News Nr. 3, 05/2006
- [63] SCHWENZER N., REITEMEIER B., EHRENFELD M.: Einführung in die Zahnmedizin, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2006
- [64] SEXTON J. B., THOMAS E. J., HELMREICH R. L.: Error, stress and teamwork in medicine and aviation: Cross sectional surveys. In: BMJ, 2000
- [65] VAJNA S., (HRSG.): CAx für Ingenieure, Eine praxisbezogene Einführung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009
- [66] VDI Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, Beuth Verlag, Düsseldorf, 1993
- [67] WEINGER M.B.: A Clinician's Perspective on Designing Better Medical Devices. In: Wiklund M., Wilcox S.: Designing Usability into Medical Products, Boca Raton. CRC Press. Foreword, 2010
- [68] DIE WELT, WISSEN ARTIKEL: Wie kam die Karies ins Steinzeit Gebiss: http://www.welt.de/print/die_welt/wissen/article123612815/Wie-kam-die-Karies-ins-Steinzeit-Gebiss.html, 23.09.2015
- [69] WILKENING C.: Lasersintern als Rapid Prototyping-Verfahren – Grenzen und Möglichkeiten, Dissertation Technische Universität München, 1997
- [70] WIMMER A-M.: Experimentelle Untersuchungen zur Form praxisüblicher Kronenstumpfpräparationen, Dissertation der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 2009
- [71] WINTERMANTEL E., WOO HA S.: Medizintechnik, Life Science Engineering, Interdisziplinarität Biokompatibilität Technologie Implantate Diagnostik Werkstoffe Business, Springer Verlag, 2008
- [72] ZAEPERNICK N., (HRSG): Laser-Sintern, Der kürzeste Weg vom Entwurf zum fertigen Produkt, Photonik 4/2011, 05.07.2011
- [73] ZAHNMEDIZINPORTAL: <http://www.dr-elke-seitz.de/images/Karieszahn.jpg>, 16.02.2012
- [74] ZANGEMEISTER C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen, Diss. TU. Berlin, München: Wittemann, 1976
- [75] ZIMMERMANN J.; STARK C.; RIEC J.: Projektplanung – Modelle, Methoden, Management, Springer Verlag, Berlin, 2006

9. Anhang

9.1. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AM	Additive Manufacturing
BK	Bewertungskriterium
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
DGSV	Deutsche Gesellschaft für Sterilgutversorgung e.V.
EG	Europäische Gemeinschaften
EN	Europäischen Normen
EOS	Electro Optical Systems
FDA	Food and Drug Administration
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
KaVo	Kaltenbach & Voigt, KaVo Dental GmbH
KCP	Kinetische Kavitätenpräparation
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
MDD	Medical Device Directive
MP	Medizinprodukt
MPG	Medizinproduktegesetz
NWA	Nutzwertanalyse
PSW	Performance Software
RM	Rapid Manufacturing
RP	Rapid Prototyping
SLI	Scalable Link Interface
SLS	Selectiv Laser Sintern
STL	Surface Tessellation Language
VDI	Verein deutscher Ingenieure
VIQ	Visual Questionnaire

9.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ein von Karies befallener Zahn [73]	3
Abbildung 2: Randgestaltung bei Vollgusskronen [55]	5
Abbildung 3: Winkelanforderung bei Vollgusskronen [39]	6
Abbildung 4: Dentalhandstück gerade KaVo GENTLEpower LUX 10LP	8
Abbildung 5: Dentalwinkelstück KaVo GENTLEpower LUX 7LP:.....	8
Abbildung 6: Winkelstück im Einsatz am Phantomkopf [5]	8
Abbildung 7: Prozessablauf der Entwicklung des individuellen Winkelstück-Zubehöres	10
Abbildung 8: Favorisierte Lösungsvariante, individuelles Winkelstück-Zubehör	11
Abbildung 9: Abhängigkeiten im medizinischen Arbeitsumfeld [8]	13
Abbildung 10: Chronologischer Ablauf der Versuchsreihe	20
Abbildung 11: Abdrucknahme mit der Abdruckbasis Offset 0,50 mm	21
Abbildung 12: Datenblatt für die Erstellung der individuellen Winkelstück-Zubehöre	21
Abbildung 13: Instinktives Winkelstückhandling.....	22
Abbildung 14: Abdrucknahmen mit der Abdruckbasis Offset 0,50 mm	22
Abbildung 15: Abdruckbasis in Knetsilikon auf Scanplattform	23
Abbildung 16: Positionierung des Zubehöres auf dem Winkelstück mittels Magics	24
Abbildung 17: Das Zubehör für das Winkelstück mit Offset 0,5 mm	24
Abbildung 18: Individuelle Zubehöre mit Initialen an der Außenfläche versehen.....	25
Abbildung 19: Voller FORMIGA P110 Bauraum mit 290 individuellen Zubehören	25
Abbildung 20: Nachbearbeitung eines Dentalhandstück-Zubehöres:	26
Abbildung 21: Wahrnehmungsfilter A akzeptiert vorrangig Systeme [40]	28
Abbildung 22: Wahrnehmungsfilter B reagiert über Spontanität und Emotionalität [40]	28
Abbildung 23: Datenblatt für die Erstellung der individuellen Winkelstück-Zubehöre	28
Abbildung 24: Anzahl der Testnutzer [8]	29
Abbildung 25: Präparationskurs des ersten Fachsemesters der LMU.....	30
Abbildung 26: Direkter Gebrauchsvergleich des Handstückes ohne/mit Zubehör.....	31
Abbildung 27: Durchführung der Abdrucknahme mit den Probanden der LMU:	32
Abbildung 28: Ranking zur Ermittlung der Nutzerzufriedenheit.....	34
Abbildung 29: Darstellung der einzelnen Analyseparameter im Schnitt	36
Abbildung 30: Wahrnehmungsfilter der 72 Zahnmedizinische Studierende, Probanden.....	37
Abbildung 31: Die Wahrnehmung der Abdrucknahme der 36 Probanden mit Zubehör	38
Abbildung 32: 67% der 72 Probanden finden ein individuelles Zubehör sinnvoll	39
Abbildung 33: Design-Wahrnehmung der individualisierten Zubehöre aller 72 Probanden...	40

Abbildung 34: Ergonomie und Strukturwahrnehmung der individuellen Zubehöre n=36	40
Abbildung 35: Schreibinstrumenten-Vergleich eines Dentalschleifers mit Zubehör n:36	41
Abbildung 36: Schreibinstrumenten-Vergleich eines Dentalschleifers ohne Zubehör n:72	41
Abbildung 37: Bewertung des Umganges im Vergleich mit/ohne Zubehör n=36.....	42
Abbildung 38: Häufigkeit der Abnahme des Zubehöres n=36	43
Abbildung 39: Ergonomische Vorteile im Arbeiten mit dem Zubehör n:72	43
Abbildung 40: Bewertung der Schmerzen mit dem Zubehör vs. ohne Zubehör.....	44
Abbildung 41: Bewertung des Winkelstück-Handlings mit/ohne Zubehör n:72	44
Abbildung 42: Bewertung des Winkelstück-Handlings mit/ohne Zubehör n:4	45
Abbildung 43: 56% der Probanden glauben die Arbeit mit Zubehör bietet Vorteile n:72	46
Abbildung 44: Allgemeiner Eindruck der Winkelstücke mit/ohne Zubehör	47
Abbildung 45: Kaufbereitschaft für ein individuelles Winkelstück-Zubehör n:72.....	47
Abbildung 46: Ergebnisse der Konvergenzwinkel-Messung mittels LMU-Software	49
Abbildung 47: Mittelwertige Stufenbreite nach Bearbeitung mit/ohne Zubehör	50
Abbildung 48: Ergebnisse der mittelwertigen Präparationswinkel mit/ohne Zubehör	51
Abbildung 49: Ergebnisse der mittelwertigen Präparationslänge mit/ohne Zubehör	52
Abbildung 50: Ergebnisse der mittelwertigen Unterschnitte mit/ohne Zubehör	53
Abbildung 51: Strukturierte Oberflächen und natürliche Farben bevorzugt [40]	57
Abbildung 52: Weiche, anschmiegsame Formen bevorzugt [40]	57
Abbildung 53: Eigenschaften der vier Wahrnehmungs-Typen [61]	58
Abbildung 54: Wahrnehmungsfilter für die vier Gestaltungsmerkmale [40]	59
Abbildung 55: Wahrnehmungsfilter für das Gestaltungsmerkmal Form	60

9.3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Empfehlungen zur Hohlkehlpräparation einer Vollgusskrone [23, 57, 19, 39]	7
Tabelle 2: Angaben für Mindeststärken bei einer Vollgusskrone im Überblick [70]	15
Tabelle 3: Messgrößen zur Gebrauchstauglichkeitskontrolle am Präparationsergebnis	16
Tabelle 4: Aufteilung der Probandengruppen mit ihren Eigenschaften und Aufgaben	30
Tabelle 5: Interpretation des Schreibinstrumenten-Vergleiches	33
Tabelle 6: Ergebnisse der Konvergenzwinkel-Messung mittels LMU-Programm	48
Tabelle 7: Ergebnisse der Stufenbreiten-Messung mittels LMU-Software	50
Tabelle 8: Ergebnisse der Präparationswinkel-Messung mittels LMU-Software	51
Tabelle 9: Ergebnisse der Präparationslängen-Messung mittels LMU-Software	52
Tabelle 10: Ergebnisse der Unterschnitt-Messung mittels LMU-Software	53

9.4. Anhang 1

Biokompatibilitäts-Zertifikat für das Material PA2200 50/50



BIOCOMPATIBILITY Certificate

Test Item: PA 2200 Reused powder (50% virgin + 50% recycled powder from EOSINT P System)

Supplier: EOS GmbH Electro Optical Systems
Robert-Stirling-Ring 1, 82152 Krailling, Germany

Studies performed: The following studies were performed in order to determine the biocompatibility of the product PA 2200 Reused powder (50% virgin + 50% recycled powder from EOSINT P System), Batch No. 919389 according to ISO 10993-1:

CYTOTOXICITY (BSL Study No. 094861)

SENSITISATION (BSL Study No. 094864)

INTRACUTANEOUS REACTIVITY (BSL Study No. 094863)

Results: The product did pass the requirements in the studies performed.
Therefore, the biocompatibility of the test material was proved.

1) LLNA (Local Lymph Node Assay)

BSL BIOSERVICE Scientific Laboratories GmbH Munich

Behringstraße 6

82152 Planegg

Germany

Dr. Ingrid Haist

Biological Safety Testing

Date: 19 March 2010

BSL BIOSERVICE Scientific Laboratories GmbH

Behringstraße 6/8 - 82152 Planegg, Germany
Telefon +49(0)89-899 65 00 - Fax +49(0)89-899 65 011
email: info@bioservice.com - www.bioservice.com

Geschäftsführer: Dr. Wilfried Riedel

Arztgericht München, HRB 109 770

Erlküng und Gerichtsstand München

NICHD/IB Norddeutsche Grozentrale, BIZ 250 500 00, Kto. 1 51 328 523, SwiftBIC: NCNDE2HXXX, IBAN: DE76 2505 0000 0151 3285 23

Deutsche Bank München, BIZ 700 700 24, Kto. 9 407 750, SwiftBIC: DEUTDE33HAN, IBAN: DE52 7007 0024 0940 7750 00



Akkreditiert durch
Zentralstelle der Länder
für Gesundheitsberufe
des Arzneiherstell-
und Medizinprodukte-
ZLG-P-996.96.01



BIOCOMPATIBILITY CERTIFICATE

Testmaterial: **Feinpolyamid PA 2200**
Chemical composition: **Polylaurinlactam**

Supplier: EOS GmbH; Electro Optical Systems
Robert-Stirling-Ring 1, 82152 Krailling; Germany

Studies performed: The following study was performed in order to determine the biocompatibility of the device.


USP BIOLOGICAL TESTS (CLASSIFICATION VI/121 °C)

Results: The test item did not show any effect in the performed study and meets all the criterias of the USP Biological Tests Classification VI.

BSL BIOSERVICE Scientific Laboratories GmbH

Behringstraße 6

D-82152 Planegg


Dr. Ingrid Haist
Biological Safety Testing
Date: December 13, 2004



9.5. Anhang 2

Probandenfragebogen Wahrnehmung und Wirkung des individuellen Zubehörs

Probandenbefragung – Wahrnehmung und Wirkung Ihres individuellen Zubehörs

1. Proband

Name:

Vorname:

Geschlecht:

Alter:

Laborplatz:

Ich habe ein individuelles Zubehör für mein Winkelstück erhalten: ☐ Ja, Farbe: _____ ☐ NeinIch habe vor diesem Studium bereits eine medizinische Ausbildung abgeschlossen: ☐ Ja ☐ Nein

Falls ja, welche?:

2. Abdrucknahme

Im Folgenden geht es um die Abdrucknahme für das Zubehör. Bitte beurteilen Sie die Abdrucknahme für das Zubehör im Hinblick auf Durchführung, Verständlichkeit und Empfinden.

2.1.

Als die Doktorandin das Projekt in der Vorlesung erstmals vorgestellt hat, haben Sie das Vorhaben verstanden.

Stimmt gar nicht

Stimmt völlig

2.2.

Wenn Sie an die Abdrucknahme für das Zubehör zurückdenken, war das Vorgehen für Sie verständlich?

Stimmt gar nicht

Stimmt völlig

2.3.

Wenn Sie an die Einführung durch die Doktorandin zurückdenken, fühlten Sie sich bei Fragen kompetent beraten?

Stimmt gar nicht

Stimmt völlig

2.4.

Wenn Sie an die konkrete Abdrucknahme Ihrer Fingerposition denken, haben Sie diese als angenehm empfunden?

Stimmt gar nicht

Stimmt völlig

2.5.

Stellen Sie sich vor, das Zubehör ginge in die Serienproduktion. Könnten Sie sich dann vorstellen, selbstständig mit Hilfe der technischen Hilfsmittel den Abdruck Ihrer individuellen Fingerposition zu nehmen?

Stimmt gar nicht

Stimmt völlig

2.6.

Als Sie das erste Mal von dem Projekt „Individuelles Zubehör für den Zahnarzt“ gehört haben, erschien es Ihnen als gute Idee und sinnvoll?

Ja ☐Nein ☐Keine Meinung ☐

2.7.

Wenn Sie noch einmal ganz allgemein an die Abdrucknahme zurückdenken, welche Vorschläge, Hinweise oder Wünsche für die Abdrucknahme möchten Sie zusätzlich geben:

Probandenbefragung – Wahrnehmung und Wirkung Ihres individuellen Zubehörs

3. Zubehör-Design

Bei der Akzeptanz und dem Gebrauch von Gegenständen **spielt die individuelle Wahrnehmung eine entscheidende Rolle**. Die Faktoren für eine positive Wahrnehmung können dabei sehr individuell sein. Ein personalisiertes Zubehör kann dabei helfen, ein handelsübliches Winkelstück zu individualisieren. Vor allem Form, Struktur und Farbe des Zubehörs können durch den 3D-Druck einfach anwenderspezifisch angepasst werden.

Im Folgenden interessiert mich daher Ihre individuelle Wahrnehmung Ihres personalisierten Zubehörs.

3.1.

Wenn Sie zunächst an den allgemeinen Eindruck des Zubehöres denken, würden Sie sagen das Design gefällt Ihnen?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

3.2.

Wenn Sie an die Arbeit mit Ihrem Zubehör denken, wie würden Sie sagen, passt sich die ergonomische Form des Zubehörs Ihrer Fingerposition während des Präparierens an?

sehr schlecht

0	1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---	---

sehr gut

3.3.

Wenn Sie an die Arbeit mit Ihrem Zubehör denken, würden Sie sagen, die Farbe Ihres Zubehörs gefällt Ihnen?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

3.4.

Wenn Sie an Ihr individuelles Zubehör denken, würden Sie sagen, die Möglichkeit das Zubehör mit Ihrem Monogramm zu versehen ist eine interessante Ergänzung?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

3.5.

Wenn Sie an die Arbeit mit Ihrem Zubehör denken, wie würden Sie sagen, fühlt sich die Oberfläche bzw. Struktur Ihres Zubehörs an?

sehr unangenehm

0	1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---	---

sehr angenehm

3.6.

Wenn Sie an die Arbeit mit dem Dentalbohrer denken, mit welchem Schreibinstrument würden Sie Ihre persönliche Wahrnehmung beim Gebrauch vergleichen?

...mit Zubehör:

Bleistift

☐

Edding

☐

Füllfederhalter

☐

...ohne Zubehör:

Bleistift

☐

Edding

☐

Füllfederhalter

☐

3.7.

Wenn Sie noch einmal ganz allgemein an die Wahrnehmung Ihres Zubehörs denken, welche Vorschläge, Hinweise oder Wünsche möchten Sie gern geben?

Probandenbefragung – Wahrnehmung und Wirkung Ihres individuellen Zubehörs**4. Umgang**

Im Folgenden geht es um die Bewertung Ihrer Zufriedenheit **im Umgang mit dem Handstück** mit/ohne Zubehör.

4.1.

Wenn Sie an die Durchführung der „Behandlung“ denken, hat Ihnen die Arbeit Spaß gemacht?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

4.2.

Es bestand die Möglichkeit, das Zubehör während der Präparationsarbeiten abzunehmen. Wie oft haben Sie von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht?

Nie ☐ Selten ☐ Oft ☐ Immer ☐

4.3.

Wenn Sie an die Bearbeitungszeit Ihrer Präparation denken, waren sie damit zufrieden?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

4.4.

Wenn Sie an die Bearbeitungszeit Ihrer Präparation zurückdenken, wie lang würden Sie schätzen hat sie gedauert?

Ca. h min

4.5.

Wenn Sie an die Bearbeitungszeit für Ihre Präparation zurückdenken, würden Sie sagen, dass sie **mit dem Zubehör schneller durchgeführt** werden konnte?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

4.6.

Wenn Sie an Ihre Präparationsarbeit zurückdenken, würden Sie sagen, dass sie **mit dem Zubehör präziser durchgeführt** werden konnte?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

4.7.

Wenn Sie noch einmal ganz allgemein an den Umgang mit Ihrem Zubehör denken, welche Vorschläge, Hinweise oder Wünsche möchten Sie gern geben?

--

Probandenbefragung – Wahrnehmung und Wirkung Ihres individuellen Zubehörs

5. Ergonomie des Winkelstückes

Im Folgenden geht es um die **Einschätzung von Verspannungen, Druckstellen und Schmerzen im Umgang mit dem Handstück mit bzw. ohne Zubehör.**

5.1. Zunächst geht es um die Ergonomie des Winkelstückes mit Zubehör:

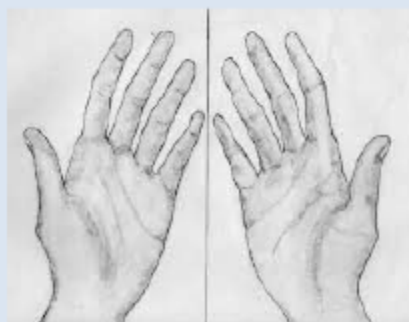
5.1.1.

Wenn Sie an die Arbeit **mit dem Zubehör** zurückdenken, spürten Sie Verspannungen und wenn ja wo und wie stark?

Hals- & Nackenbereich	Keine	0	1	2	3	4	5	6	Stark	<input type="checkbox"/>	Kann ich nicht beurteilen
Schulter	Keine	0	1	2	3	4	5	6	Stark	<input type="checkbox"/>	Kann ich nicht beurteilen
Handgelenk	Keine	0	1	2	3	4	5	6	Stark	<input type="checkbox"/>	Kann ich nicht beurteilen
Finger	Keine	0	1	2	3	4	5	6	Stark	<input type="checkbox"/>	Kann ich nicht beurteilen
Fingerkuppen	Keine	0	1	2	3	4	5	6	Stark	<input type="checkbox"/>	Kann ich nicht beurteilen

5.1.2.

Wenn Sie an die Arbeit **mit dem Zubehör** zurückdenken, können Sie sich an Druckstellen an den Fingern erinnern? Falls ja, möchte ich Sie bitten die Positionen in der Abbildung zu markieren.



Linke Hand

Rechte Hand

☐ Kann ich nicht beurteilen

5.1.3.

Wenn Sie an die Intensität der Druckstellen zurückdenken, wie stark würden Sie diese einschätzen?

Gering	0	1	2	3	4	5	6	Stark	<input type="checkbox"/>	Kann ich nicht beurteilen
--------	---	---	---	---	---	---	---	-------	--------------------------	---------------------------

5.1.4.

Wenn Sie an die Arbeit **mit dem Zubehör** zurückdenken, hatten Sie in irgendeiner Form Schmerzen?

Ja ☐ Nein ☐

5.1.5.

Wenn Sie noch einmal allgemein an die Ergonomie denken, würden Sie sagen die Arbeit **mit dem personalisierten Winkelstück** bietet hier Vorteile?

Ja ☐ Nein ☐

Probandenbefragung – Wahrnehmung und Wirkung Ihres individuellen Zubehörs

5.2. Nun geht es um die Ergonomie des Winkelstückes ohne Zubehör:

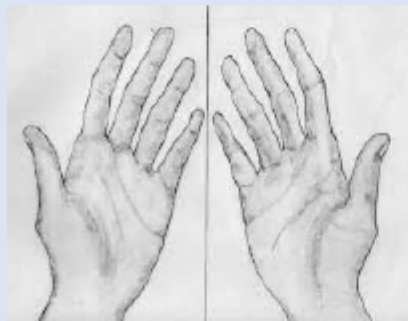
5.2.1.

Wenn Sie an die Arbeit **ohne Zubehör** zurückdenken, spürten Sie Verspannungen und wenn ja wo und wie stark?

Hals- & Nackenbereich	Keine	0	1	2	3	4	5	6	Stark	<input type="checkbox"/>	Kann ich nicht beurteilen
Schulter	Keine	0	1	2	3	4	5	6	Stark	<input type="checkbox"/>	Kann ich nicht beurteilen
Handgelenk	Keine	0	1	2	3	4	5	6	Stark	<input type="checkbox"/>	Kann ich nicht beurteilen
Finger	Keine	0	1	2	3	4	5	6	Stark	<input type="checkbox"/>	Kann ich nicht beurteilen
Fingerkuppen	Keine	0	1	2	3	4	5	6	Stark	<input type="checkbox"/>	Kann ich nicht beurteilen

5.2.2.

Wenn Sie an die Arbeit **ohne Zubehör** zurückdenken, können Sie sich an Druckstellen an den Fingern erinnern? Falls ja, möchte ich Sie bitten die Positionen in der Abbildung zu markieren.



Linke Hand

Rechte Hand

☐ Kann ich nicht beurteilen

5.2.3.

Wenn Sie an die Intensität der Druckstellen zurückdenken, wie stark würden Sie diese einschätzen?

Gering	0	1	2	3	4	5	6	Stark	<input type="checkbox"/>	Kann ich nicht beurteilen
--------	---	---	---	---	---	---	---	-------	--------------------------	---------------------------

5.2.4.

Wenn Sie an die Arbeit **ohne das Zubehör** zurückdenken, hatten Sie in irgendeiner Form Schmerzen?

Ja ☐ Nein ☐

5.2.5.

Wenn Sie noch einmal allgemein an die Ergonomie denken, würden Sie sagen die Arbeit **ohne das personalisierte Winkelstück** bietet hier Vorteile?

Ja ☐ Nein ☐

Probandenbefragung – Wahrnehmung und Wirkung Ihres individuellen Zubehörs

6. Technisches Handling des Winkelstückes

Im Folgenden geht es um die Bewertung der einzelnen Aktionen mit dem Winkelstück jeweils mit/ohne Zubehör.

6.1. Zunächst geht es um das technische Handling mit dem Zubehör.

6.1.1.

Wenn Sie an die Montage des Zubehörs am Winkelstück denken, war das Montieren für Sie einfach?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

6.1.2.

Wenn Sie an den Griff zum Instrument aus der Halterung denken, hatten Sie das Gefühl, Sie konnten es sicher greifen und fassen?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

6.1.3.

Wenn Sie an das Handling des Instrumentes denken, hatten Sie das Gefühl, Sie hielten es nach dem Greifen gleich in der richtigen Behandlungsposition?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

6.1.4.

Wenn Sie an die Arbeit in der Mundhöhle denken, gelang Ihnen das intraorale Positionieren des Instrumentes gut?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

6.1.5.

Wenn Sie an die Durchführung der „Behandlung“ denken, war das Festhalten und Führen des Instrumentes während der Anwendung sehr sicher?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

6.1.6.

Wenn Sie an die Demontage des Zubehörs denken, war das Demontieren für Sie einfach?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

Probandenbefragung – Wahrnehmung und Wirkung Ihres individuellen Zubehörs

6.2. Nun geht es um das technische Handling ohne Zubehör.

6.2.1.

Wenn Sie an den Griff zum Instrument aus der Halterung denken, hatten Sie das Gefühl Sie konnten es sicher greifen und fassen?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

6.2.2.

Wenn Sie an das Handling des Instrumentes denken, hatten Sie das Gefühl, Sie hielten es nach dem Greifen gleich in der richtigen Behandlungsposition?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

6.2.3.

Wenn Sie an die Arbeit in der Mundhöhle denken, gelang Ihnen das intraorale Positionieren des Instrumentes gut?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

6.2.4.

Wenn Sie an die Durchführung der „Behandlung“ denken, war das Festhalten und Führen des Instrumentes während der Anwendung sehr sicher?

Stimmt gar nicht

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---

Stimmt völlig

6.2.5.

Wenn Sie noch einmal allgemein an das Instrumentenhandling denken, würden Sie sagen, **die Arbeit mit dem personalisierten Winkelstück** bietet hier Vorteile?

Ja

☐

Nein

☐


Probandenbefragung – Wahrnehmung und Wirkung Ihres individuellen Zubehörs

7. Allgemeiner Eindruck


Im Folgenden geht es um die **Beurteilung des Winkelstückes im Hinblick auf den allgemeinen Eindruck**.

7.1.

Sehr gut	10		
	9		
	8		
	7		
	6		
	5		
	4		
	3		
	2		
Sehr schlecht	1		



Winkelstück ohne Zubehör



Winkelstück mit individuellem Zubehör

7.2.

Wenn Sie an den Gesamteindruck des Instrumentes denken, würden Sie sagen, **das Winkelstück mit dem personalisierten Zubehör hat Ihnen besser gefallen als das ohne Zubehör?**

Stimmt gar nicht Stimmt völlig

7.3.

Stellen Sie sich vor, Sie haben Ihr Studium erfolgreich abgeschlossen, richten Ihre eigene Praxis ein und statten sie mit Instrumenten aus. Würden Sie ein individuelles Zubehör für Ihre Handstücke kaufen?

Ja ☐ Nein ☐

7.4.

Wenn Sie sich vorstellen die Anschaffung eines Winkelstückes kostet Sie ca. 1.000 Euro, wie viel Geld wären Sie bereit für ein individuelles Zubehör zu bezahlen?

Preisvorschlag für das individuelle Zubehör: €

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

10. Danksagung

Besonders hervorheben möchte ich meinen Dank an meinen Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. dent. Florian Beuer für seine Anregungen zur Wahl des Themas meiner Doktorarbeit, für sein in mich gesetztes Vertrauen und seine fachliche Unterstützung.

Der EOS GmbH, die mir diese Doktorarbeit ermöglicht und die zur Durchführung benötigten Arbeitsmittel zur Verfügung gestellt hat, gilt mein besonderer Dank. Dort bin ich im Verlauf meiner Arbeit von vielen Seiten unterstützt worden. Bei Frau Juliane Finke und Herrn Rainer Salzberger, die mir die Möglichkeit und das Vertrauen gaben, die Doktorarbeit neben meinem Berufsleben durchzuführen, möchte ich mich speziell bedanken. Für die kompetente Unterstützung in Theorie und Praxis bedanke ich mich vielfach beim gesamten Lehr-Team der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der LMU und den Studierende des ersten Fachsemesters Zahnmedizin, die mir durch ihre offene und aufgeschlossene Art sehr bei der erfolgreichen Durchführung der Gebrauchstauglichkeitsstudie geholfen haben.

Mein besonderer Dank gilt außerdem Herrn Dr. Kurt Erdelt, der mir mittels seiner innovativen Analysesoftware die optimale Auswertung meiner Daten ermöglicht hat.

Mein Dank für die freundliche und fachliche Unterstützung in der Vorklinik gilt, Herrn Dr. med. dent. M.Sc. Ephraim Nold, dem Leiter der Vorklinik des Campus Innenstadt in der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der LMU und seinem Team.

Ganz besonders möchte ich meinen Mentor und Freund Prof. Dr. med. Dr.-Ing. Erich Wintermantel für die aufschlussreichen und aufmunternden Diskussionen und Anregungen danken.

Weiterer Dank gilt auch allen Experten, meinen Kolleginnen und Kollegen und besonders den Probanden, die im Verlauf dieser Arbeit an Befragungen, Gebrauchstauglichkeitstests, Ideenworkshops oder Bewertungen teilgenommen und mich unterstützt haben.

Abschließend gilt mein ganz besonderer Dank meinen Eltern und meinen Schwiegereltern, meinen einzigartigen Großeltern und meinem Mann Dr. Georg Fuchs, die mich alle allumfassend und jederzeit unterstützten und stets an mich geglaubt haben.

Danke!

11. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens) des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Datum: Unterschrift:

M.Sc. Franziska Fuchs